



Contortatallens roll för virkesförsörjningen på Holmen Skog, Region Iggesund

- Konsekvensanalys av fyra hushållningsstrategier för contortatall.

*The role of Lodgepole pine for wood supply at Holmen Skog, Region
Iggesund*

- *Evaluation of four management strategies for Lodgepole
pine.*

Erik Edler

**Arbetsrapport 313 2011
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Peder Wikström**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.slu.se/srh
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-313-SE

Contortatallens roll för virkesförsörjningen på Holmen Skog, Region Iggesund

- Konsekvensanalys av fyra hushållningsstrategier för contortatall.

The role of Lodgepole pine for wood supply at Holmen Skog, Region Iggesund

- *Evaluation of four management strategies for Lodgepole pine.*

Erik Edler

Examensarbete i Skogshushållning vid inst för skoglig resurshushållning, 30 hp
jägmästarprogrammet
EX0628

Handledare: Peder Wikström, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Examinator: Tomas Lämås, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, planering

Extern handledare: Jonas Eriksson, Holmen Skog, Stab skogsvård

Innehåll

Sammanfattning	3
Abstract	4
Bakgrund.....	5
Contortatallens produktion	6
Gallring av contortatall	6
Tidigare avverkningsberäkningar	8
Mål	9
Material och metoder	11
Studieområde	11
Ingångsdata	11
Beräkningsmetoder	12
PlanStart.....	12
PlanWise	12
Skogsdomäner	13
Kontrollkategorier	13
Optimeringsmodellen.....	17
Resultat.....	19
Utgångsläget	19
Nuvärde och total nettoproduktion	20
Virkesförråd	21
Virkesflöden.....	22
Skötsel av contortabestånd.....	25
Gallring på beståndsnivå.....	28
Diskussion	29
Gallring som hushållningsstrategi	30
Gödsling som hushållningsstrategi	31
Felkällor	32
Slutsatser	34
Tillkännagivanden.....	35
Referenser	36
Personlig kommunikation:	38
Bilaga 1. Kopplingen mellan kontrollkategorier och domäner.....	39
Bilaga 2. Beskrivning av optimeringsmodellen	42

Sammanfattning

För att snabbt öka virkesproduktionen planterades stora arealer contortatall (*Pinus contorta* var. *latifolia*) under 1970- och 80-talet. Syftet med den snabbväxande exoten var att öka tillväxten och med en kort omloppstid snabbt öka avverkningsnivån. Idag utgör contorta en stor del av ungskogen inom Holmen Skog, region Iggesund och en aktiv skogshushållning bör ske för att sprida den avverkade volymen över en längre tidsperiod.

Syftet med detta examensarbete är att undersöka möjligheten till att sprida den avverkade volymen contorta över en längre tidsperiod. Jämnhet i flödet av contortavirke kan skapas genom att förskjuta avverkningar i tid och genom gallring. Effekten av fyra hushållningsstrategier har analyserats med hjälp av PlanWise, Heurekas applikation för skoglig planering på fastighets- och företagsnivå.

Om flödet av contortavirke jämnas ut kvarstår en brist på gran- och talltimmer enligt tidigare avverkningsberäkning. Därför har också två gödslingsprogram för tall undersökts. De visar att en engångsgödsling av talldominerade bestånd kan öka tillväxten med i medeltal 13,7 m³sk/ha. Produktionsökningen är jämt fördelad över perioderna.

Ingen brist på talltimmer kan ses de närmaste 30 åren. Avverkningsnivån beror på hur Holmen väljer att ransonera äldre bestånd. Därefter kan en brist möjligen uppstå men osäkerheten är stor då prognosen bygger på nuvarande plant- och ungskog som speglas sämre i utgångsläget.

Slutsatsen är att jämnhet i flödet av contortavirke kan åstadkommas både med och utan gallring av contorta men att nuvärdesförlusten med ett jämnhetskrav är mindre med gallring då ingreppet har en utjämnande effekt på virkesflödet. Gallring höjer också nuvärdet med jämfört med utan gallring.

Nyckelord: PlanWise, gallring, strategisk planering, skogshushållning, gödsling.

Abstract

Large areas of Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) were planted in the 1970s - and '80s. The purpose of the fast-growing species was to increase growth and with short rotation periods allow a rapidly increased harvest level. Today a large proportion of the young forests owned by Holmen Skog, Iggesund are covered by Lodgepole pine and an active forest management is required to spread the harvested volume over time which is desirable by a market perspective.

The purpose of this essay is to investigate the possibility of spreading the harvested volume of Lodgepole pine over time. A steady harvest of Lodgepole pine can be achieved by shifting final felling in time and by thinning. The consequences of four management strategies are analyzed using PlanWise, a software program for forest-level planning and analysis in the decision support system Heureka.

If the harvest of Lodgepole pine is evenly distributed over time a shortage of spruce and pine timber will occur according to previous harvest forecast. Therefore, also two fertilization programs for pine are investigated. It shows that a one-time fertilization of pine-dominated stands can increase growth by on average 13,7 m³sk per fertilized hectar, of which 4,7 m³fub is pine timber. The growth increase is distributed evenly over periods.

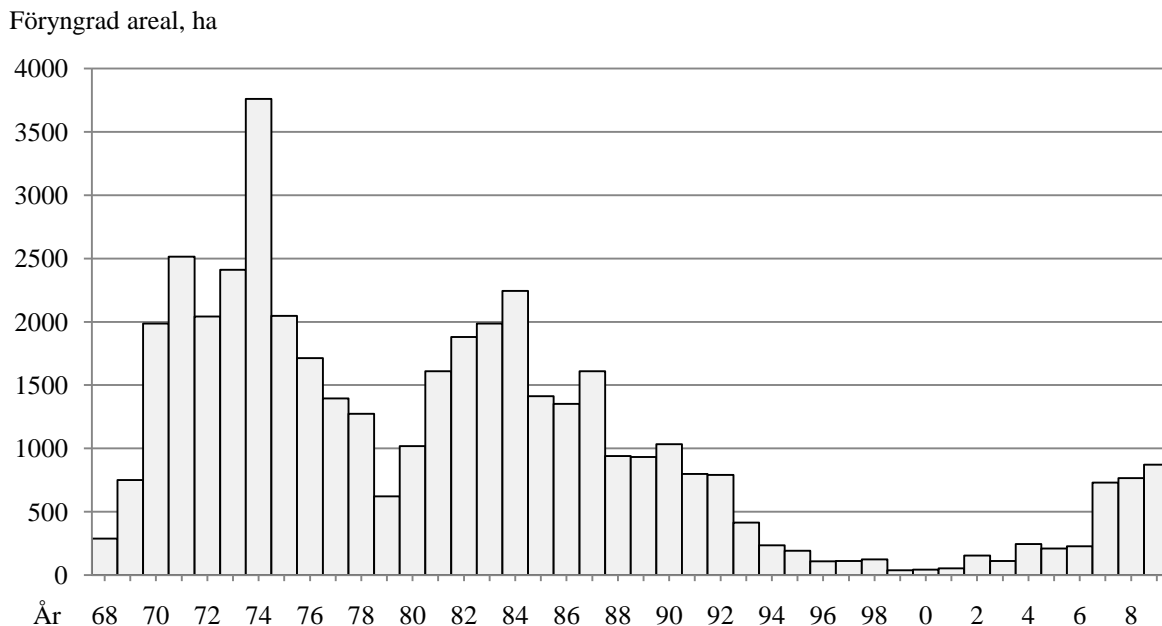
No shortage of pine timber can be seen in the next 30 years. The harvest level depends on how Holmen choose to ration with old stands. A shortage can occur due to a lack of young age-classes today but there is a high degree of uncertainty because young forest is poorly reflected in the inventory data used.

The conclusion is that an even flow of harvested Lodgepole pine can be achieved both with and without thinning, but the net present value loss with restrictions on timber flow is less with thinning because the smoothing effect of thinning. Thinning also increases the present value compared with no thinning.

Keywords: PlanWise, thinning, strategic planning, forest management, fertilization.

Bakgrund

Hur ska vi handla idag för att skapa ett framtidsanpassat och framtidsdugligt skogsbruk? Så sammanfattade Roland Nellbeck, skogsvårdschef på Iggesunds Bruk, de frågeställningar som företaget stod inför 1969. Skogsbruket präglades av en kraftig rationalisering under denna period. Inspirerad av plantageskogsbruk på Nya Zeeland sökte Nellbeck nu efter metoder för att skapa en framtidsskog med hög tillväxt och med en rationell och mekaniserad skötsel. Olika främmande trädslag övervägdes och i samarbete med SCA valdes den nordamerikanska contortatallen till Sveriges tredje barrträd. (Nellbeck 1969, Hagner 2005). Contortatallen (*Pinus contorta* var. *latifolia*) hade visat en mycket god produktion i tidiga försök men kunskaperna var bristfälliga och baserades på ett fåtal tidiga försök, det första i Finnland anlagt 1910 och därefter i Sverige 1928 (Elfving et al. 2001). Åldersklassfördelningen i den norrländska skogen var ojämn och det var brist på medelålders skog. En virkesbrist förutspåddes som skulle infalla i början av 2000-talet, nu såg man möjligheten att lindra denna genom att i stor skala plantera den snabbväxande contortatallen. Planteringar i kommersiell skala inleddes av Iggesunds Bruk 1968, SCA avvaktade ytterligare ett par år i väntan på resultat från proveniensförsök som bolaget anlagt. Efter flera bakslag med allvarliga gremeniellaangrepp under 1980-talet införde Skogsstyrelsen begränsningar kring hur stor areal som fick planteras årligen och även gränser för var contorta fick användas. Intresset för att använda contorta avtog men har de senaste åren ökat igen. Det beror på att de problem med stabilitet och svampangrepp som de tidiga planteringarna brottades med kan förhindras med ett korrekt proveniensval och nya plantodlingssystem med mindre rotdeformationer alternativt sådd. I dag växer contorta på 13 % av skogsmarken på Iggesunds Bruk, som idag utgör en region inom Holmen Skog AB.



Figur 1. Areal årligen föryngrad med contorta, Region Iggesund. Källa: Holmen Skog AB.

Figure 1. Area annually regenerated with Lodgepole pine, Region Iggesund. Source: Holmen Skog AB.

Contortatallens produktion

Contortatallen härstammar från västra Nordamerika och är ett utpräglat pionjärträdslag med snabb ungdomstillväxt. Den förekommer i tre underarter och den som används i Sverige är den nordliga inlandsvarianten, *Pinus contorta* var. *latifolia*. Erfarenhet av planterad contorta saknas i Nordamerika och växtbetingelserna skiljer sig avsevärt. Därför har behovet av studier kring det nya trädslaget varit stort. Till en början koncentrerades forskningen kring valet av rätt proveniens för att sedan utökas till produktionsfrågor, skador av olika slag och miljöfrågor.

De första produktionsstudierna byggde på ett fåtal observerade bestånd med osäker historik men under 1970-talet utvecklades bättre modeller. En av de första fullständiga produktionsmodellerna gjordes i samband med Huginprojektet. Modellen baserades på ett större material än tidigare och bestånd från både Sverige och Finland ingick. Slutsatsen var att totalproduktionen är 65 – 75 % högre för contorta jämfört med vanlig tall, skillnaden i relativa tal ökar med sjunkande bonitet (Hägglund et al. 1979). Senare underökningar av Björn Elfving och Olov Norgren visar att tidigare forskning överskattat tillväxten något och att totalproduktionen ökar med 36 % oberoende av bonitet. Mätt i nettoproduktion under bark är produktionsökningen också ca 36 %, vilket beror på att en ökad avgång i äldre bestånd kompenseras av högre överlevnad i plantstadiet och tunnare bark. Jämförelse mellan tall och contorta baseras på ett utgångsläge med 1600 stammar/ha före gallring och 2- 3 gallringar med 30 % uttag av volymen. Den optimala omloppstiden för contorta beräknas till 10 – 15 år kortare än för svenskt tall (Elfving & Norgren 1993). Kunskaperna om contortatallens produktion har ökat med ett växande dataunderlag och produktionsökningen kan vara något större än 36 % (Agestam & Karlsson 2009).

Contortatallens högre produktion jämfört med svensk tall beror på högre överlevnad i plantstadiet och en större barrmassa och en större mängd fina rötter (Norgren 1995). Den högre överlevnaden i plantstadiet förklaras med en högre motståndskraft mot flera svampar och skadeinsekter samt att arten är osmaklig för älg (von Segebaden 1992). Den stora barrmassan gör att utrymmet för fotosyntes ökar men leder dock till problem med instabilitet och högre risk för snö- och vindskador i synnerhet efter gallring (Elfving et al. 2001). Kunskaperna om hur äldre bestånd växer i norden är bristfälliga, det äldsta beståndet som ingick i Elfving och Norgrens studie var 64 år varför tillväxtfunktioner för äldre bestånd är osäkra men tillväxten är hög även i äldre bestånd.

Gallring av contortatall

Contortatallens tillväxtökning efter gallring motsvarar den för svensk tall men avgångarna är högre. Gallringsförsök med tall visar att totalproduktionen sjunker men att nettoproduktionen i stort sett är oförändrad i ogallrade och gallrade bestånd utom vid de allra kraftigaste gallringarna (Agestam 2009). SLU bedriver ett gallringsförsök med contorta och den senaste revisionen visar att nettoproduktionen i gallrade parceller sjunker med omkring 50 m³sk/ha (Karlsson opubl.). Försöksytorna i gallringsförsöken har en medelålder på ca 45 år men den minskning som uppstår kan inte tas igen senare och kommer kvarstå under resten av omloppstiden. Därför är det sannolikt att 50 m³sk/ha gäller för en hel omloppstid även om försöket följts under en kortare

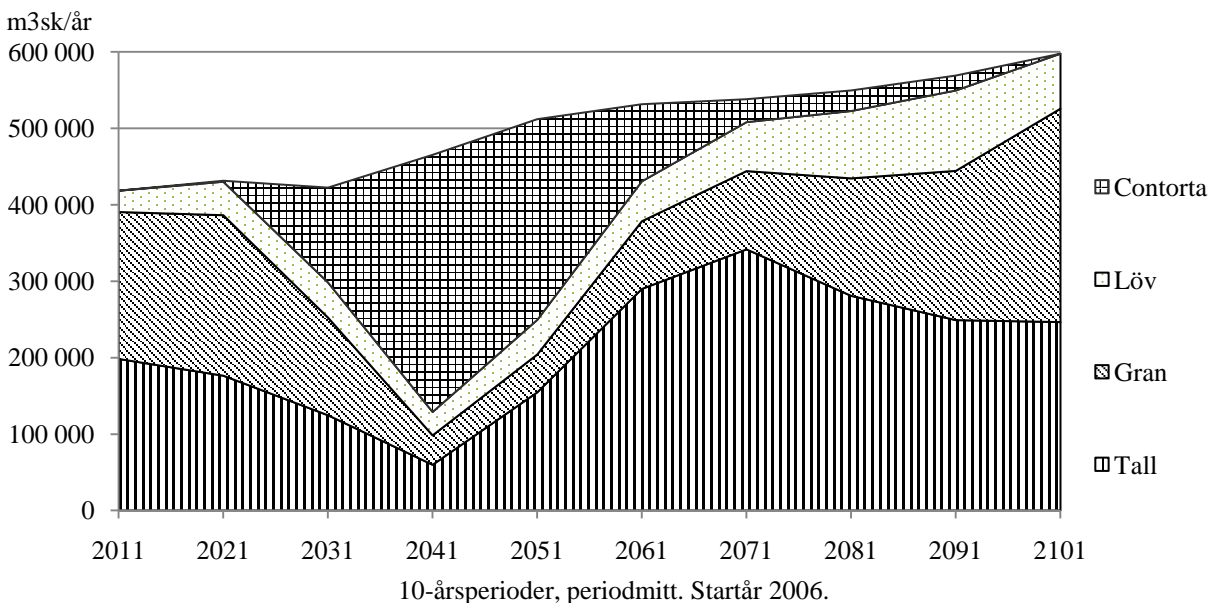
period (Agestam 2009). Produktionsförlusten som uppstår vid gallring beror på att det tar några år innan beståndet slutits och fullt ut kan använda tillgängligt ljus och näring men sedan är den löpande tillväxten i nivå med ogallrade bestånd.

Avgångarna efter förstagallring är enligt Elfving et al. (2001) ca 50 % högre för contorta än för vanlig tall men en genomgång av förstagallringar som SCA utfört i contortabestånd visar att skadenivån inte är oroväckande hög. I snitt hade 3,9 % av stammarna eller 2,3 % av volymen dött 3- 12 år efter förstagallring (Hämäläinen 2010).

För att minska risken för snö- och vindskador bör contorta gallras tidigt och inte för hårt då risken för vind- och snöskador ökar med beståndets övre höjd och ökad gallringsstyrka (Persson 1975, Elfving 2002, Hämäläinen 2010). Holmen Skogs riktlinjer är därför att gallra contortatall vid en övre höjd om 11-13 meter vilket är något tidigare än för vanlig tall. Bestånd med en övre höjd över 15 m lämnas ogallrade på grund av skaderisken (Normark 2010). Holmen rekommenderar heller inte gallring av contortatall på fuktiga och finjordrika marker (Normark 2010). En fin jordtextur minskar armeringen och rötternas hållfasthet vilket ökar risken för snö- och vindskador (Rosvall 1994).

Tidigare avverkningsberäkningar

Det skötselprogram som utarbetades vid introduktionen av contorta byggde på ett gallringsfritt skogsbruk. Efter plantering skulle bestånden röjas till glesa produktionsförband på 1000 – 1400 plantor/ha beroende på bonitet. Detta stamantal skulle sedan behållas fram till slutavverkning vid 40 till 55 års ålder (Nellbeck 1969). Den planerade omloppstiden har sedan ökats i och med ökad kunskap om uthålligheten i contortatallens produktion (Elfving & Norgren 1993). De stora arealer som anlades under 1970-talet kommer enligt tidigare avverkningsberäkning att generera stora volymer contortavirke under en period av ca 40 år med start omkring 2020. Detta kräver en snabb omställning hos de mottagande industrierna som inte är önskvärd. Tidigare avverkningsberäkningar bygger på att contorta inte ska gallras. Figur 2 visar en prognos över avverkad volym per år av olika trädslag i slutavverkning och baseras på den senaste företagstaxeringen som genomfördes år 2000. Den visar också på en kraftig brist på gran- och talltimmer. Bristen på talltimmer är allvarlig eftersom Holmenkoncernen driver ett furusågverk i Iggesund med en årlig råvaruförbrukning på 650 000 m³ub talltimmer och ett stabilt råvaruflöde från egen skog är viktig för koncernens verksamhet.



Figur 2. Prognostiserad trädslagsfördelning i slutavverkning enligt befintlig avverkningsberäkning utförd med Indelningspaketet, Hälsingland. Källa: Holmen Skog AB.

Figure 2. Forecast of distribution of tree species in final felling according to existing harvest forecast performed with The Forest Management Planning Package 2006. Source: Holmen Skog AB.

Mål

Målet med detta examensarbete är att undersöka konsekvenserna av olika hushållningsstrategier för contortatall på Region Iggesund, Holmen Skog. Syftet är att hitta skötselprogram som sprider den avverkade volymen contorta över en längre tidsperiod och studera vilka konsekvenser detta får på nuvärde och virkesproduktion.

För att sprida den avverkade volymen över tiden finns tre handlingsalternativ: Att avverka bestånd i förtid, att överhålla bestånd utan gallring och att gallra bestånd. Från ett hushållningsperspektiv fyller gallringen två syften. Den avverkade volymen fördelas på flera tidpunkter samt det ger möjlighet till en längre omloppstid på grund av att tidpunkten för medeltillväxtens kulmination förskjuts (Agestam 2009). Gallring av contortatall medför också en ökad risk för avgångar och sänker produktionen. Att gallra är därför inte ett självklart val.

Om flödet av contortavirke jämnas ut kvarstår en brist på gran- och talltimmer. Gödsling är en effektiv metod för att öka avverkningsnivån redan på kort sikt. Att jämföra med andra produktionshöjande åtgärder som ger en ökad avverkningsmöjlighet först i nästa trädgeneration, till exempel förädlade plantor. Därför har två gödslingsprogram också testas för att undersöka om det är möjligt att öka produktionen av talltimmer och på så vis minska den brist som tidigare avverkningsberäkning indikerar.

De strategier som har undersökts är:

1. Gallringsfri skötsel av alla contortabestånd.
2. En gallring i gallringsbara contortabestånd.
3. En gallring eller gallringsfri skötsel av contorta. Denna strategi kombinerar skötselprogrammen från strategi ett och två. Det skötselprogram som ger högst nuvärde väljs av optimeringsmodellen.
4. En gallring eller gallringsfri skötsel av contorta samt en gödsling av tall före slutavverkning. Även effekten av gödsling före både slutavverkning och sistagallring ska undersökas.

För att undersöka vad ett jämnt virkesflöde kostar i form av minskat nuvärde och produktion testas varje strategi med och utan jämnhetskrav. Jämnhetskrav på virkesflödet leder det till att avverkningar kommer att förskjutas i tiden och bestånd kommer att avverkas vid tidpunkter som inte är ekonomiskt optimala.

Strategi ett, gallringsfri skötsel av contortatall, är den strategi som har använts i tidigare avverkningsberäkningar och detta utgör grundscenariot, ett referensscenariot som övriga strategier jämförs med. Strategi ett är en ytterlighet som man i praktiken redan har frångått. Syftet med denna strategi är också att studera vilken omloppstid som modellen väljer för att klara jämnhetskraven. Strategi två, en gallring i gallringsbara contortabestånd, innebär att alla bestånd som uppfyller gallringsmallens krav på grundyta och höjd gallras. Bestånd som i utgångsläget har passerat 15 meters övre höjd eller som står på en finjordsrik eller fuktig standort gallras inte. Strategi två är intressant för att studera effekterna av en generell gallringspolicy.

Strategi tre innebär att det för varje bestånd simuleras skötselprogram enligt både strategi ett och två. Optimeringsmodellen väljer sedan de skötselprogram som ger högst nuvärde. Denna strategi ger störst frihet för modellen och ska ge det högsta nuvärdet. Syftet är att undersöka om det finns bestånd som uppfyller kriterierna för att gallras men där en gallringsfri skötsel är ekonomiskt optimal.

Med ett jämnhetskrav på virkesflödet har optimeringsmodellen således tre olika alternativ för att sprida ut avverkningsvolymerna över tiden, avverkning i förtid, gallring eller överhållning, och det ska studeras hur dessa skötselalternativ fördelas och diskuteras om de alternativ som föreslås är genomförbara.

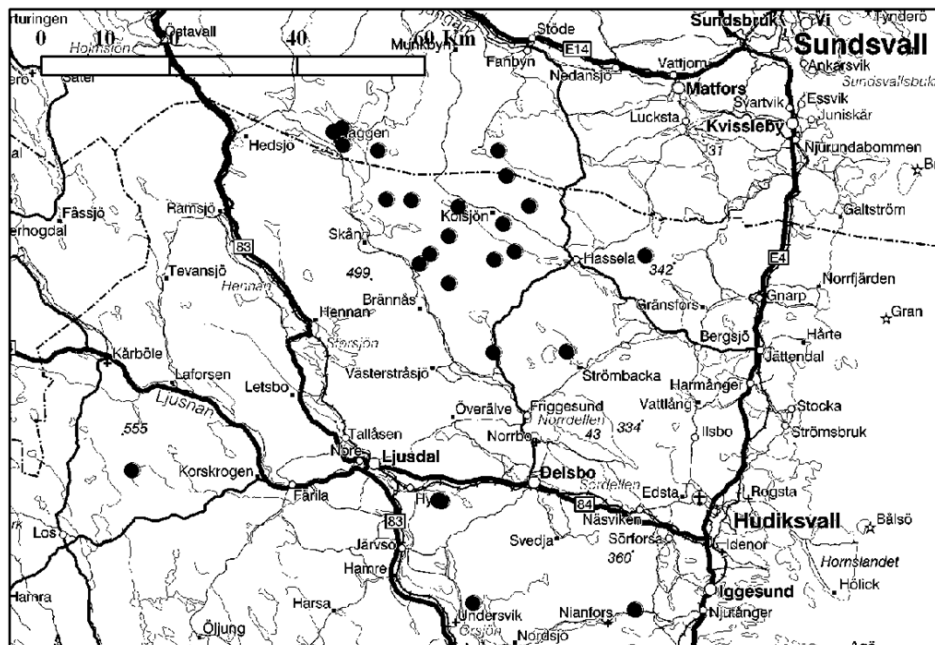
Medan strategi ett till tre fokuserar på contortatall, syftar strategi fyra till att sätta contortatallen i ett sammanhang tillsammans med övriga trädslag. Om flödet av contortavirke jämnas ut kvarstår en brist på talltimmer enligt tidigare avverkningsberäkning. Strategi fyra syftar till att undersöka möjligheten att öka produktionen av talltimmer genom gödsling. Att skapa ett jämnt virkesflöde av talltimmer är svårare eftersom skogsvårdslagen begränsar den lägsta tillåtna slutavverkningsåldern vilket i dagsläget inte är fallet för contortatall (Skogsstyrelsen 2010). Två olika gödslingsprogram testas, gödsling före slutavverkning eller gödsling före både slutavverkning och sistagallring.

I arbetet tas inte hänsyn tas till Holmens mål att alltid hålla en ”planeringsreserv” om 20 % av arealen över lägsta slutavverkningsålder. Gödsling och en eventuell minskning av planeringsreserven minskar också handlingsutrymmet i den operativa planeringen men en värdering av möjligheten att hitta lämpliga avverkningstrakter kommer inte att göras.

Material och metoder

Studieområde

Studieområde är Holmen Skogs distrikt Ljusdal, Delsbo och Hudiksvall. Dessa utgör tillsammans beräkningsområde "Hälsingland" och omfattar 174 000 ha produktiv skogsmark. Contortatall är dominerande trädslag (andel av volymen över 50 %) på 13 % av arealen. Det innebär att förekomsten av contorta är bland den högsta i landet.



Figur 3. Karta över lottade bestånd i strata contorta.
Figure 3. Map of stands sampled in strata Lodgepole pine.

Ingångsdata

Studien baseras på data från Holmen Skogs företagstaxering insamlat genom objektiv inventering enligt Indelningspaketets fältrutin fältsäsongen 2010. Kontrolltaxering har genomförts under hösten 2010 i syfte att kvalitetssäkra arbetet och om nödvändigt kalibrera förrättningsmännen. De data som används i denna studie har dock inte kalibrerats men avvikelserna från kontrolltaxeringen är små.

Utifrån uppgifter om volym och ålder i beståndsregistret har bestånden grupperats i 45 strata, inom dessa har bestånden lottats med en sannolikhet som är proportionell mot arealen (PPS). Bestånd avsatta för naturvård samt bestånd dominerade av contorta har grupperats i egna strata. Inom beräkningsområde "Hälsingland" har totalt 210 bestånd lottats ut för inventering. I 25 av dessa är contorta dominerande trädslag enligt Holmens registeruppgifter och dessa representerar en areal på 25 100 hektar. För att inkludera de volymer som finns i bestånd där contorta

förekommer men inte är dominerande trädslag ingår alla bestånd i studien. Det sätter också contortotalen i ett sammanhang tillsammans med övriga trädslag vilket är viktigt speciellt med avseende på den brist på gran- och talltimmer som tidigare avverkningsberäkning indikerar.

Beräkningsmetoder

I arbetet har beslutsstödssystemet Heureka med applikationerna PlanStart och PlanWise använts (Anon 2009, Wiklund et al. 2010).

PlanStart

Med PlanStart skapas en skogsdatabas för vidare bearbetning i PlanWise. Här kan data från Indelningspaketet importeras, med uppgifter om bestånd och behandlingsenheter, provtytor och inmätta träd. Detta data har kompletterats med uppgifter från beståndsregistret om tidigare gallring eller gödsling samt vilka behandlingsenheter som är avsatta för naturvård. Dessutom har uppgifter om jordart för varje provyta hämtas från Indelningspaketets grundfiler. Uppgift om jordart samlas in i fält men ingår ej i Indelningspaketets ordinarie rutin utan är ett tillägg som Holmen har i sin fältapplikation. Medianen av jordartskoderna för provytorna i varje behandlingsenhet har beräknats i Excel innan det kopplats till behandlingsenheterna. 106 av 1659 ytor saknade jordartskod helt, dessa har tilldelats kod 13, ”sandig-moig morän” vilket är den dominerande jordarten i regionen. Detta bedöms inte påverka behandlingsenheternas median i någon betydande.

Totalt 210 bestånd har lottats ut till taxering men 260 behandlingsenheter finns i utgångsläget. Ett bestånd är i regel också en behandlingsenhet men flera behandlingsenheter kan förekomma inom samma bestånd. Det inträffar om en provyta är avverkad (gallring eller slutavverkning), om en del av beståndet inte bedöms vara avverkningsbar (på grund av tekniska svårigheter eller naturvårdshänsyn) eller om beståndsindelningen är uppenbart felaktig. För att lösa detta har behandlingsenheterna kopplats mot enheterna i beståndsregistret med hjälp av ett tilläggsprogram i Excel, kalkylbladet sparas sedan i .csv-format och importeras i PlanStart.

PlanWise

PlanWise är Heurekas applikation för strategisk och taktisk planering och programmet har använts för att studera de olika strategierna. För varje behandlingsenhet simulerar PlanWise skötselprogram som sträcker sig över hela planeringsperioden. Det sker utifrån skötselregler som användaren definierar. En optimeringsmodell väljer sedan mellan skötselprogrammen utifrån av användaren definierade restriktioner och mål. Planeringshorisonten i detta arbete är 100 år fördelat på 20 stycken femårsperioder.

Metodiken skiljer sig från konsekvensberäknande system som RegWise, Heurekas applikation för regionala analyser och dess föregångare Hugin. I ett konsekvensberäknande system sätter användaren regler för hur skogen ska skötas och resultatet är en direkt följd av dessa. PlanWise och Indelningspaketet bygger istället på ett optimerande arbetssätt där man arbetar mot ett mål,

normalt högsta nuvärde. Användaren sätter ramarna för skötseln och låter sedan en optimeringsmodell hitta den kombination av åtgärder som ger högst måluppfyllelse.

Skogsdomäner

Behandlingsenheterna i PlanWise delas upp i skogsdomäner, grupper som lämpar sig för en likartad skötsel. Till skogsdomänerna kopplas så kallade kontrollkategorier med olika kontrolltabeller i. Domänindelningen ligger fast över hela planeringsperioden och behandlingsenheter kan aldrig växa in i en ny domän. Om två eller flera domäner överlappar varandra styr domänernas ordning så att en behandlingsenhet placeras i den första den passar in i.

Skogsdomäner i studien:	Areal:
1. Contortadominerade enheter. Minst 50 % av volymen contorta. Frisk till torr mark. Ej finjordsrik jordart (moig-, mjälig-, lerig morän, grovmo, finmo, mjäla och lera).	18 700ha 11,5 %
2. Övriga contortadominerade enheter. Minst 50 % av volymen contorta. Finjordsrika och/eller fuktiga ståndorter. (Ej lämpliga för gallring.)	2 700ha 1,7 %
3. Enheter lämpliga för gödsling och föryngring med contorta i nästa generation. Minst 50 % av volymen tall. Frisk till torr mark, ej finjordsrik eller genomsläppliga jordar (grovsand, sandig morän och grövre) Fastmark med blåbärstyp och magrare markvegetation men ej lavmark. SIS under 24m.	32 000ha 19,8 %
4. Enheter lämpliga för föryngring med contorta i nästa generation. Ej finjordsrik jordart och frisk till torr mark. Fastmark med blåbär eller magrare markvegetation, bonitetsvisande trädslag tall. SIS under 24m.	22 500ha 13,9 %
5. Enheter dominerad av tall lämpliga för gödsling. Minst 50 % tall i utgångsläget. Ej genomsläppliga jordarter, ej heller lavmark.	19 500ha 12,0 %
6. Övriga behandlingsenheter	66 900ha 41,1 %

För behandlingsenheter som gödslas tillkommer fler krav i kontrollkategorierna.

Kontrollkategorier

Till varje skogsdomän kopplas en eller flera kontrollkategorier som sätter ramarna för skötseln av domänen. Skilda kontrollkategorier kan användas i befintliga bestånd (kallas "generation 1") och i nästkommande generationer ("generation 2"). Varje kontrollkategori innehåller ett antal kontrolltabeller. Saknas det en kontrolltabell i en kategori används tabellen i "Default Control Category" vilket innebär att övriga kontrollkategorier bara behöver innehålla kontrolltabeller där ändringar görs. Även i "Default Control Category" har anpassningar gjorts och den ska inte förväxlas med default-inställningar. För varje kontrollkategori beräknas här 100 alternativa skötselprogram som rangordnas utifrån nuvärde.

Kontrollkategorier som används:

1. Default Control Category.
Innehåller uppgifter som är gemensamma för alla kategorier såsom prislista, kostnader för skogsvård och avverkning.
2. Ingen gallring, föryngring med contorta.
Inga gallringar tillåtna, föryngring av tallboniteter med contorta.
Slutavverkningstidpunkt fri.
3. En gallring, föryngring med contorta.
Föryngring av tallboniteter med contorta, gallringsmallen justerad för att motsvara ett 3 meter högre SIS för contorta och maximal övre höjd vid förstagallring 15 meter, en gallring tillåten.
Slutavverkningstidpunkt fri.
4. Gödsling före slutavverkning. Gödsling tio år före slutavverkning med 150 kg kväve per hektar i form av ammoniumnitrat, utförs på fastmark med SI 16 – 30 samt med markvegetation av ristyp.
Även gödsling före både sistagallring och slutavverkning har använts.
5. Föryngring med gran och gallring.
Föryngring med gran på tallboniteter, gallring tillåten. Används i generation 2 på fuktiga eller finjordsrika ståndorter.

I skogsvårdslagen finns ingen lägsta slutavverkningsålder (LSÅ) för contorta. Skogsvårdslagen med tillhörande föreskrifter och allmänna råd definierar inte vad ett contortabestånd är men övriga skogstyper definieras som att trädslaget i fråga ska utgöra minst hälften av virkesförrådet varför den definitionen också här används för contorta (Skogsstyrelsen 2010). Slutavverkning är i PlanWise normalt en möjlig åtgärd först när åldern har överstigit LSÅ. I kontrollkategori två och tre tillåts slutavverkning redan 8 perioder (40 år) före enheten uppnått LSÅ för tall och gran. Det innebär att slutavverkning är tillåten från 25-40 års ålder beroende på bonitet. I den senaste versionen av PlanWise finns dock möjlighet att ange LSÅ specifikt för contorta.

Kravet på jordart och markfuktighet utgår från forskning som visar på en ökad instabilitet vid fuktig och finjordsrik mark (Hämäläinen 2010, Rosvall 1994, Persson 1975). Detta samband gäller även för andra trädslag men tillsammans med contortatallens sämre stabilitet är det inte att rekommendera att föryngra med contorta på dessa marker. Agestam och Karlsson (2009) rekommenderar inte föryngring med contorta på bördiga ståndorter som har en vegetationstyp bättre än blåbärstyp eller där SI är högre än T24. Merproduktionen mätt i absoluta tal ökar med ökande bördighet enligt Norgren & Elfving (1993) men med hänsyn till kvalitetsutveckling och skaderisk är det inte att rekommendera contorta på de bästa ståndorterna.

Gödsling av tall och gran lämpar sig bäst på medelgoda marker med ståndortsindex 16-30. På låga boniteter ger åtgärden få extra kubikmeter. Riktigt bördiga ståndorter är naturligt kväverika varför kvävetillförsel inte har samma effekt där (Jacobson et al. 2005). Med hänsyn till den

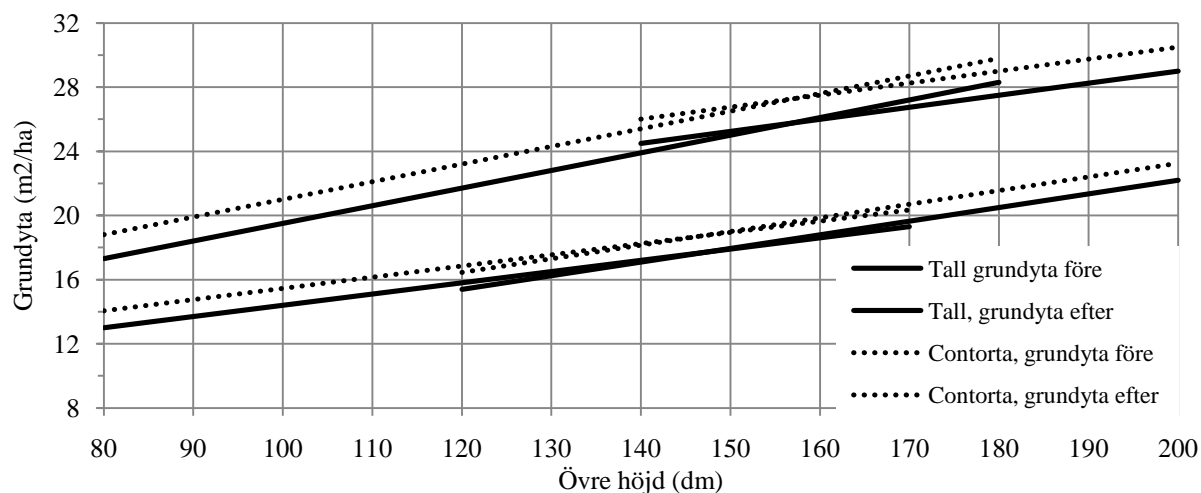
förändring av markvegetationen som uppstår vid gödsling bör det inte utföras på mark med lavdominerad markvegetation, detta gäller även utanför renbetesområdet (von Arnold 2007). Den gödselgiva som används här om 150 kg kväve per hektar vid ett eller två tillfällen följer också Skogsstyrelsens hänsynskrav om maximalt 200 kg vid samma tillfälle och en total tillförsel på 300 kg kväve under samma skogsgeneration (von Arnold 2007).

Tabeller över hur kontrollkategorier och domäner har kombinerats för de olika strategierna finns i bilaga 1.

Gallring i PlanWise

Den gallringsmall som PlanWise använder för contorta är uppbyggd på samma sätt som för tall och gran. Den består av fyra stegvis linjära funktioner som anger grundytan före och efter gallring och härstammar ursprungligen från Hugin-systemet (Ekö 1979). När grundytan överskrider de övre strecken faller gallring ut som skötselalternativ. PlanWise använder SIS i gallringsmallen och den överensstämmer i stort med Skogsstyrelsens gallringsmallar. Holmens riktlinje är att gallra contorta enligt samma mall som för tall men med ett tillägg på SIS med tre meter (Normark 2010), detta illustreras i figur 5 där koefficienten för SI har justerats och T20 motsvarar istället T23. Tillägget på tre meter syftar till att korrigera för den ökade tillväxt som contortatallen ger (Elfving pers. kom.). En studie av jämförelseplanteringar med tall och contorta visar också att skillnaden i tillväxt är just 3 meter uttryckt som SIH H100 (Persson 2008).

Vid gallringsplanering i fält är det oftast möjligt att skatta SI utifrån beståndets övre höjd, då används gallringsmallen utan tillägg.



Figur 4. Gallringsmall för tall och contorta vid SI 20.

Figure 4. Thinning guide for Scotch pine and Lodgepole pine compared at site index T20.

Förutom gallringsmallen kan en maximalt tillåten gallringsstyrkan anges, och är satt till 40 % av grundytan. I gallringsalgoritmen anges också vilka trädslag som ska prioriteras. Barrträd har prioriterats framför lövträd men ingen skillnad görs mellan inhemska barrträd och contorta.

För att hindra modellen från att utföra alltför sena gallringar som i praktiken kan ge stora vind- och snöskador begränsas den övre höjd då förstagallring är möjlig till max 15 meter för contorta. Dessutom är antalet perioder som gallring kan senareläggas jämfört med vad mallen anger begränsad till en femårsperiod, dock kvarstår alltid höjdkravet.

Intäkter och kostnader

Diskonteringsräntan som används i arbetet är 2,5 % real ränta, enligt Holmens önskemål. Friheten i att justera virkespriser, skogsvårds- och drivningskostnader och andra faktorer som påverkar resultatet är stor. Då studiens syfte är att jämföra olika strategier och inte göra en absolut skattning av skogsmarkens nuvärde är exakta uppgifter om intäkter och kostnader av mindre betydelse. En kostnadstabell som motsvarar de faktiska kostnaderna för Holmens drivnings- och skogsvårdarbete har använts och prislistan är en intern prislista för egen skog.

Volymerna contortavirke på marknaden är idag små varför det inte finns någon enhetlig prissättning. I dag prissätts massaved av contorta som barrmassaved. Fiberegenskaperna skiljer sig något från vanlig tall, contortafibern har både för- och nackdelar (Lidström 2008). Det finns dock ingen anledning att tro på någon större prisskillnad i framtiden även om det blir ett eget sortiment. Därför används samma pris för massaved av contorta som vanlig barrmassa.

Contorta har något lägre hållfasthet än tall men lämpar sig ändå bra som konstruktionsvirke (Andersson 1987). Provsågningar av contortatimmer som SCA har genomfört visar också att trädslaget lämpar sig bra till panel, limfog och kvistfria komponenter (Wigardt 2007). Vedegenskaperna liknar svensk planterad tall från höga boniteter. Förmågan att kvistrensa är dock betydligt sämre med frisk kvist långt ner på stammen även i slutna bestånd varför andelen klass 1-timmer förväntas bli obefintlig. I denna studie används samma prislista för tall- och contortatimmer, de fyra klasserna behålls men för contorta ersätts priserna för klass 1 av priserna i klass 3.

Kvalitet är en faktor som är svår att modellera varför det i Heureka istället används statistik från virkesmätares föreningar. Uppgifter om kvalitetsfördelning för contorta saknas från VMF men flera tidigare examensarbeten har försökt uppskatta andelen stammar med timmerkvalitet i contortabestånd. Metod, geografiskt område och tidsperspektiv varierar (nutid eller slutavverkningstidpunkt) varför det är svårt att dra en samlad slutsats. Hämäläinen (2010) uppskattar andelen stammar med timmerkvalitet till 49 % efter förstagallring. Persson (2008) bedömer att 46 % av contortastammarna och 60 % av tallstammarna kan ge timmer vid slutavverkning, det inkluderar vid slutavverkningstidpunkten invallade skador. Nilsson (2004) anger att 55 % av contortastammarna och 64 % av tallstammarna är möjliga timmerträd. Andelen virke som håller timmerdimension men som måste klassas ner till massaved på grund av krök eller andra skador har av projektgruppen bakom Heureka i samråd med VMF uppskattat till 10 % för tall och gran. För contorta antas här ett värde på 20 % för att spegla den ökade skadefrekvens som ovan nämnda studier visar. Ett argument för att gallra är att ingreppet höjer kvalitén på det kvarvarande beståndet genom uttag av klena och skadade stammar. Hänsyn till den kvalitetsförbättring som gallring medför tas dock inte här utan samma prislista används i gallrade och ogallrade behandlingsenheter. I praktiken är möjligheten till ett kvalitativt urval i förstagallring också låg på grund av ett högt uttag i stickvägarna och en strävan efter ett jämnt gallringsuttag.

Sådd av contorta är ett alternativ till plantering som ger stabilare plantor med hög kvalitet (von Segebaden 1992, Rune & Mattson 1998). Det ger en något senare beståndsetablering jämfört med plantering med det kompenseras av ett högre stamantal varför produktionen är likvärdig enligt Holmen Skog som i första hand föryngrar contorta genom sådd. Empiriska modeller för sådd av contorta saknas varför föryngring i denna studie uteslutande simuleras genom plantering. Ett alternativ för att återskapa förhållandena vid sådd vore att öka antalet plantor vid plantering, minska kostnaden per planta samt senarelägga planteringen. Det bör dock ge samma slutresultat som vanlig plantering då den förbättrade kvalitet och stabilitet som sådd kan ge inte kan återskapas i nuvarande tillväxtmodeller.

Eftersom beräkningarna grundar sig på ett stickprov som är lottat utifrån beståndets ålder och stående volym speglas vissa variabler dåligt och risk för systematiska fel finns, exempelvis terrängtransportavstånd som har stor inverkan på drivningskostnaden. Här används istället ett fast värde på 400 meter som motsvarar genomsnittligt terrängtransportavstånd i regionen.

Naturvårdshänsyn

Holmen Skog är enligt sin FSC-certifiering skyldig att undanta 5 % av den produktiva skogsmarken från skogsbruk samt ta en generell hänsyn vid avverkning som motsvarar ca 5 % av arealen. Då detta arbete syftar till att studera virkesflödet ingår inte behandlingsenheter avsatta för naturvård och ej heller behandlingsenheter med slutsiffra fyra (utförd naturvårdshänsyn, till exempel kantzoner) eller fem (tekniska impediment). Dessa motsvarar tillsammans 6,53 % av skogsmarken. Den generella hänsynen återskapas genom att 5 % av varje behandlingsenhet undantas från skogsbruk, för dessa simuleras en fri utveckling. Totalt innebär det att 11,5 % av arealen undantas från skogsbruk vilket väl motsvarar nuvarande naturvårdspolicy. Att helt bortse från naturvårdsbestånden underskattar det faktiska virkesförrådet då dessa håller en hög stående volym men det ger istället en bättre bild av den volym som är tillgänglig för virkesproduktion.

Optimeringsmodellen

Optimeringsmodellen i PlanWise använder linjärprogrammering som lösningsmetod och programmet Lp_Solve, som ingår som komponent i PlanWise, används som lösare (Anon 2010). Utifrån en målfunktion och restriktioner väljs de skötselprogram som ger högst måluppfyllelse. Målfunktion här är högsta nuvärde och restriktioner har satts för att skapa ett jämt virkesflöde och för att begränsa arealen contorta.

Jämnhetskrav på virkesflödet har formulerats för contorta, talltimmer, grantimmer och total volym separat. Om jämnhetskrav endast ställs på den totala avverkade volymen riskeras ett resultat där bristen på talltimmer som tidigare AVB indikerar kompenseras med en högre andel contortavirke, vilket inte är önskvärt. Massaved kan heller inte ersätta timmer varför ett krav på flödet av gran- och talltimmer sätts istället för ett jämnhetskrav på bara tall och gran. En jämn eller ökande trend eftersträvas. Den avverkade volymen får inte understiga volymen i första perioden, dessutom tillåts inte volymen avvika med mer än plus/minus 10 % jämfört med föregående period. Detta gäller för tall- och grantimmer samt contorta. För den totala volymen tillåts dessutom ingen minskning mellan perioderna, detta för att skapa en jämn eller ökande trend. För domän tre och fyra skapas skötselprogram med möjligheten att föryngra tallboniteter med contorta eller tall. Det innebär att optimeringsmodellen är fri att välja det alternativ som ger högst nuvärde. Holmen Skogs mål är att arealen contorta inte ska överstiga 10 % av företaget skogsareal som helhet, de regionala skillnaderna är stora. Region Norrköping och Uppland saknar

contorta helt, undantaget några försöksplaneringar, därför kan en något högre arealandel än 10 % tillåtas i Hälsingland. Den övre gränsen i detta arbete är satt till 15 % av den produktiva arealen, inklusive naturvårdsavsättningar. Det motsvarar 26 100 ha. Detta krav ligger med även för strategier utan jämnhetskrav.

Eftersom behandlingsenheterna utgör ett urval av bestånd så representerar varje behandlingsenhet en större areal än sin egen. Därför finns inget heltalsvillkor i optimeringsmodellen. Det innebär att en behandlingsenhet kan delas upp mellan flera olika skötselprogram om det behövs för att uppfylla restriktionerna. För en matematisk beskrivning av optimeringsmodellen, se bilaga 2.

Resultat

Utgångsläget

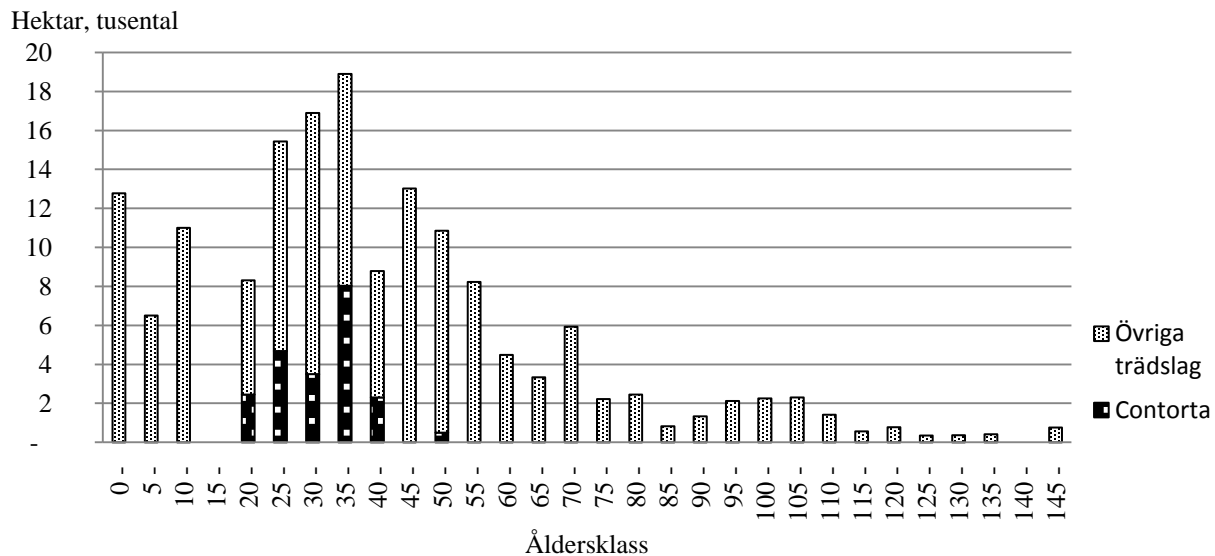
Contorta utgör 14 % av virkesförrådet i utgångsläget, exklusive naturvårdsbestånd. Variationen mellan inventerade bestånd är stor och syns i figur 6 som visar stående volym och medelålder i brösthöjd för contortadominerade, ogallrade bestånd, uppdelat mellan höga och låga boniteter.

Contorta utgör en stor del av ungskogen mellan 20 och 40 år vilket visas i figur 5, i synnerhet i klassen 35-40 år där contortadominerade enheter utgör 42 % av arealen. Den totala arealen contortadominerade bestånd uppgår till 22 000 ha. Inga behandlingsenheter återfinns i åldersklassen 15-20 år men arealen gammal skog speglas bättre. Det skildrar hur osäkerheten i taxeringen ökar med sjunkande ålder och volym. Observera att figur 5 visar arealen produktionsbestånd och inkluderar inte bestånd avsatta för naturvård men en generell hänsyn om 5 % av arealen är medräknad.

Tabell 1. Trädslagsfördelning i utgångsläget

Table 1. Distribution of tree species in present

	Tall	Gran	Övriga	Contorta
Andel av virkesförrådet, exklusive naturvårdsbestånd.	35 %	38 %	13 %	14 %



Figur 5. Areal per åldersklass (5 år), för contortadominerade bestånd och för övriga trädslag.

Figure 5. Area per age class (5 years) for stands dominated by contorta and for other species.

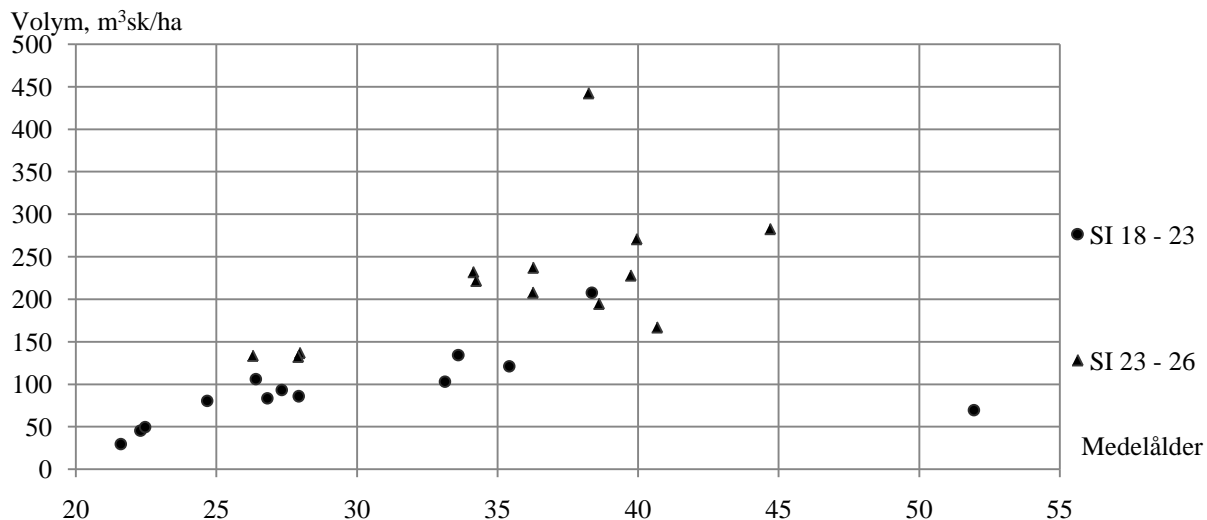


Figure 6. Virkesförråd och medelålder för ogallrade contortabestånd, sampelstorlek 26.

Figure 6. Standing volume and mean age in unthinned stands dominated by Lodgepole pine, sample size 26.

Nuvärde och total nettoproduktion

Tabell 2. Skillnad i nuvärde och total nettoproduktion mellan olika strategier

Table 2. Change of net present value and net production with even-flow restrictions and between strategies

Strategi	Nuvärde		Total nettoproduktion	
	Skillnad mot strategi 1, med jämnhetskrav. ⁽¹⁾	Skillnad mot utan jämnhetskrav. ⁽²⁾	Skillnad mot strategi 1, med jämnhetskrav. ⁽¹⁾	Skillnad mot utan jämnhetskrav. ⁽²⁾
1	-	-2,94 %	-	-5,25 %
2	0,2886 %	-2,81 %	0,64 %	-5,59 %
3	0,2527 %	-2,88 %	0,33 %	-5,38 %
4	0,9666 %	-2,81 %	1,41 %	-5,45 %

1.) Kolumnerna jämför varje strategi med strategi 1 (ingen gallring av contorta) och alla strategier jämförs med jämnhetskrav.

2.) Kolumnerna visar skillnaden med och utan jämnhetskrav för samma strategi.

Tabell 2 visar att nuvärdet sjunker med 2,81 – 2,94 % med jämnhetskrav. Kostnaden för jämnhetskravet är störst utan gallring (strategi ett). En gallring av contortabestånd (strategi två) höjer nuvärdet med 0,29 % och med valfrihet mellan att gallra eller inte (strategi tre) ökar nuvärdet med 0,25 %.

Den totala nettoproduktionen minskar också med jämnhetskrav, produktionsminskningen är 5,25-5,59 %. Produktionsökningen vid en engångsgödsling av tallbestånd är 881 000 m³sk. Även med gallring ökar nettoproduktionen något, 0,33-0,64 % jämfört med utan gallring. Nettoproduktionen

är beräknad som summan av den avverkade volymen för alla perioder plus förändring i virkesförråd efter åtgärd mellan första och sista perioden.

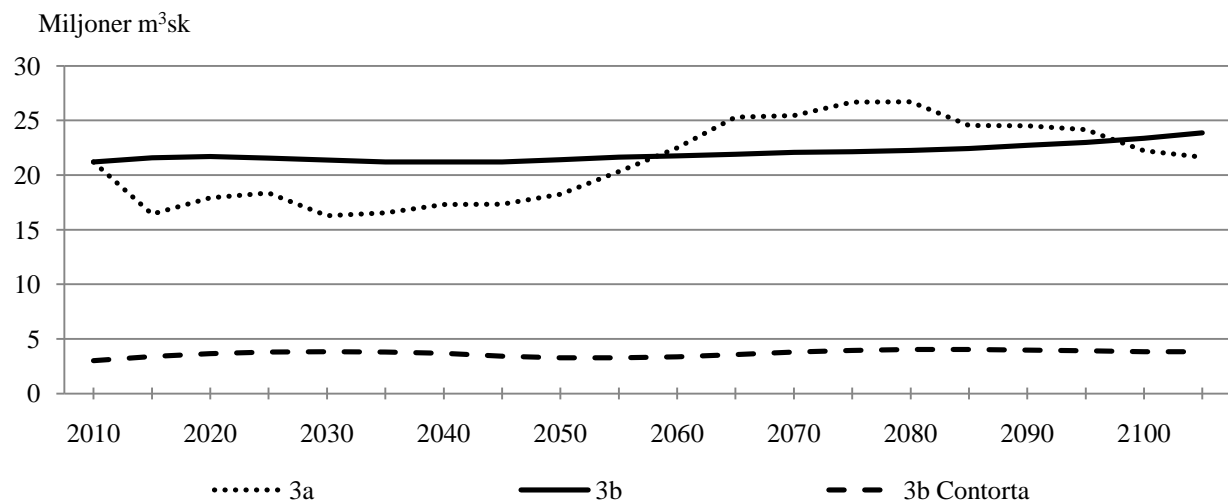
Skillnaderna är små mellan strategierna vilket beror på att förändringar i skötseln bara sker i contortabestånd, undantaget vid gödsling (strategi fyra). Om bara befintliga contortabestånd beaktas ökar skillnaderna mellan strategierna vilket syns i tabell 3. Här ökar nuvärdet med 1,68 % med gallring (strategi två) och med 2,04 % med möjlighet att välja gallring (strategi tre).

Tabell 3. Skillnad i nuvärde med gallring och jämnhetskrav, endast för ingående contortadominerade bestånd.

Table 3. Change of net present value with thinning and even-flow restrictions, for stands dominated by Lodgepole today.

Strategi	Relativ skillnad	Skillnad mot utan jämnhetskrav
1	-	-1,57 %
2	1,68 %	-1,14 %
3	2,04 %	-1,06 %

Virkesförråd

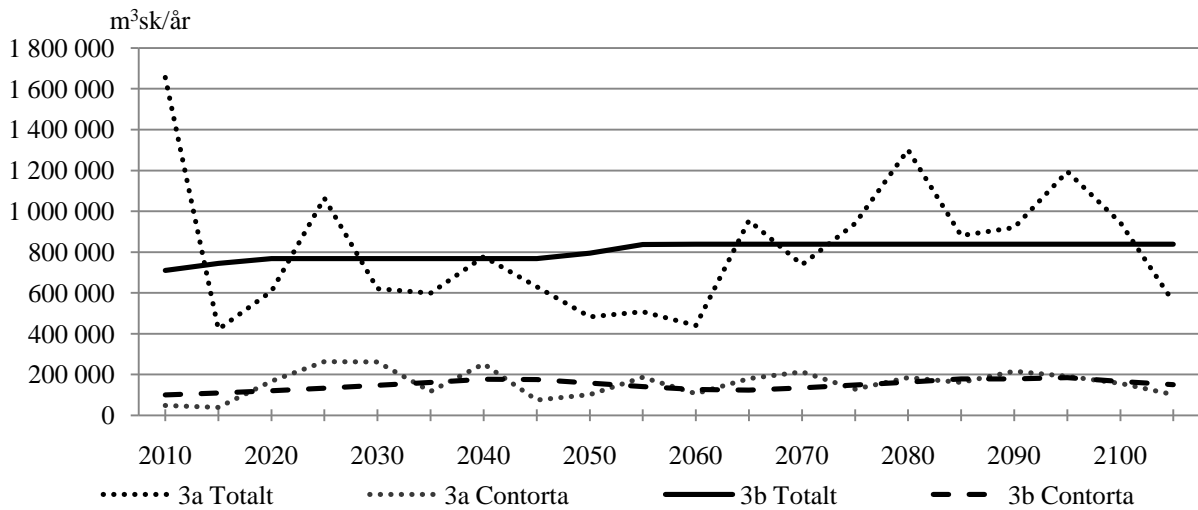


Figur 6. Totalt virkesförråd med och utan jämnhetskrav samt virkesförråd contorta med jämnhetskrav. Med möjlighet att välja gallring (strategi 3). Exklusive naturvårdsbestånd men med generell hänsyn.

Figure 6. Total standing volume with and without even-flow restrictions together with standing volume of Lodgepole pine with even-flow restrictions. With the opportunity to thin (strategy 3). Stands assigned to nature conservation excluded but with general nature conservation included.

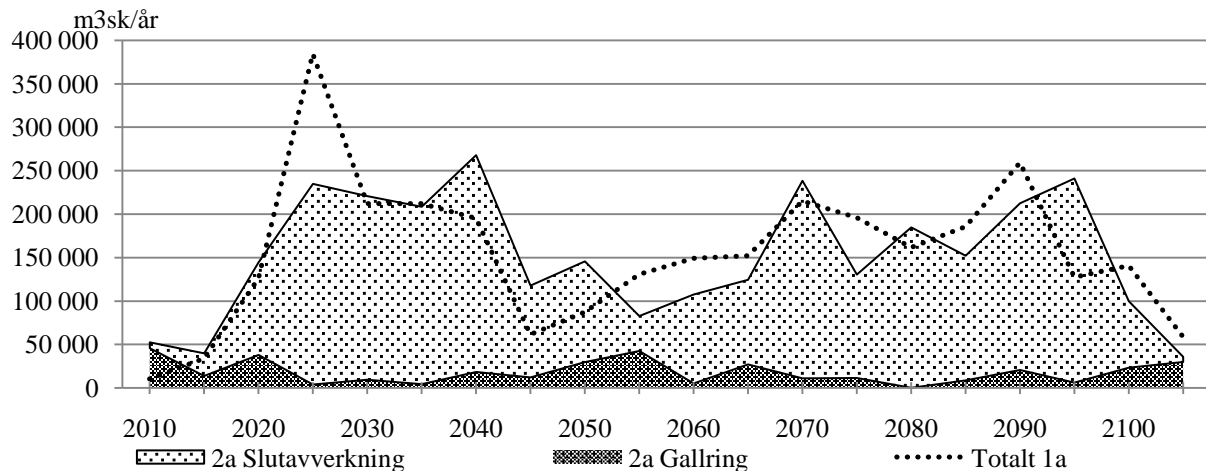
Jämnhetskrav på virkesflödet leder också till att virkesförrådet hålls på en jämn nivå men skillnaderna mellan strategierna är små varför bara strategi tre, valfrihet mellan att gallra eller ej, visas i figur 6. Utan restriktioner på virkesflödet minskar virkesförrådet kraftigt för att sedan öka andra halvan av planperioden. Stående volym contorta visas i figur 6 bara med jämnhetskrav men skillnaden med och utan jämnhetskrav är liten på grund av arealkravet på max 15 % som alltid ligger med. Observera att figur 6 visar den volym som är tillgänglig för virkesproduktion och inkluderar inte behandlingsenheter avsatta för naturvård, men generell hänsyn är inkluderad.

Virkesflöden



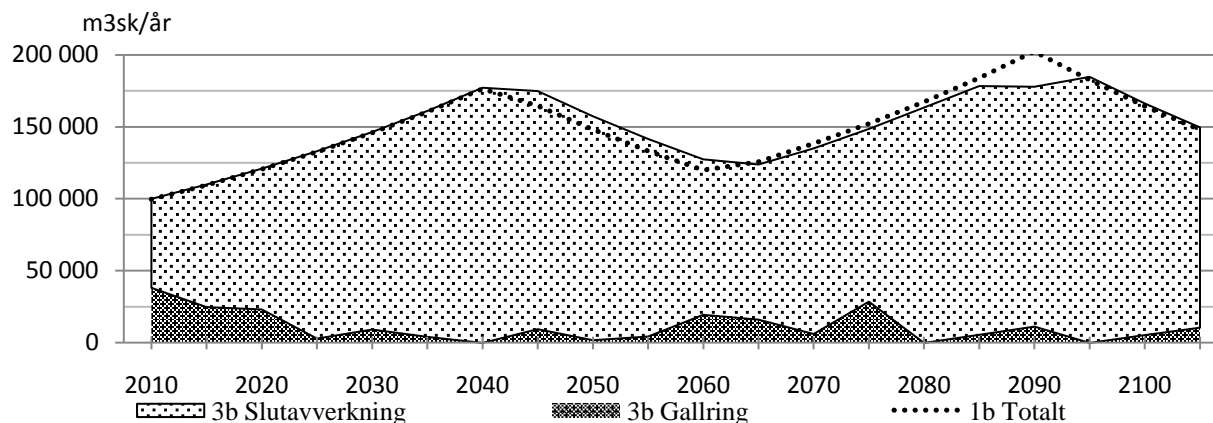
Figur 7. Årlig avverkad volym med möjlighet att välja gallring (strategi 3), totalt och contorta. Med (strategi 3b) och utan (strategi 3a) jämnhetskrav.

Figure 7. Annual harvested volume with the opportunity to thin (strategy 3), total volume and volume of Lodgepole pine. With (strategy 3b) and without (strategy 3a) even-flow restrictions.



Figur 8. Avverkad volym contorta per år i gallring och slutavverkning. Med (strategi 2a) och utan (strategi 1a) gallring. Båda utan jämnhetskrav.

Figure 8. Annual harvested volume of Lodgepole Pine in thinning and final felling. With (strategy 2a) and without (strategy 1a) thinning. Both without even-flow restrictions.



Figur 9. Avverkad volym contorta per år i gallring och slutavverkning. Utan gallring (strategi 1b) och med möjlighet att gallra (strategi 3b). Med jämnhetskrav.

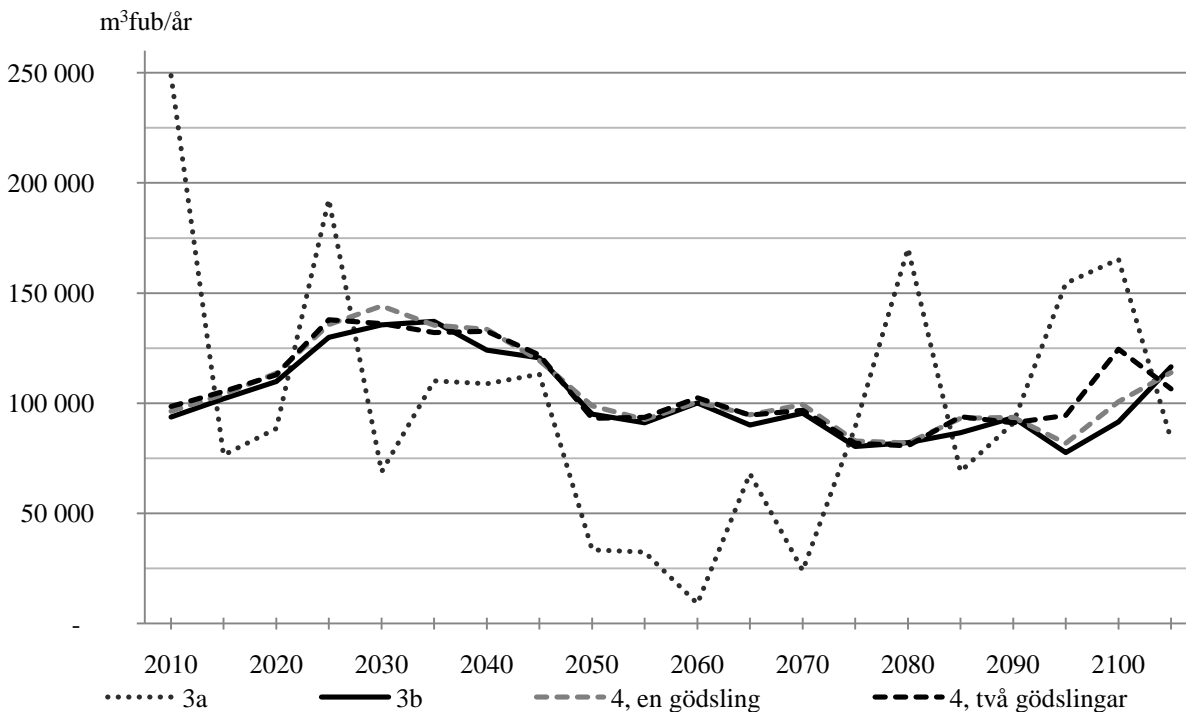
Figure 9. Annual harvested volume of Lodgepole pine in thinning and final felling. Without thinning (strategy 1b) and with the opportunity to thin (strategy 3b). With even-flow restrictions.

Den totala avverkningsnivån syns i figur 7 och visar en jämn och svagt ökande trend. Utan jämnhetskrav varierar avverkningsnivån kraftigt med mycket stora avverkningsår i första perioden. Avverkningsnivån sjunker sedan snabbt och når en ny puckel i fjärde perioden år 2025-30, när en stor areal contortabestånd slutavverkas. Skillnaderna mellan de olika strategierna i total avverkad volym är små varför bara strategi tre redovisas i figur 7. Med jämnhetskrav utgör contorta 14 – 22 % av den avverkade volymen i strategi tre.

Figur 8 visar den totala avverkade volymen contorta utan jämnhetskrav med och utan gallring. Utan gallring kulminerar avverkningarna i period fyra, år 2025-30, med 384 000 m³sk per år. Detta kan jämnas ut men jämnhetskrav på strategi ett leder till att ca 100 000 m³sk/år slutavverkas redan de första tio åren. Med en gallring jämnas den avverkade volymen contorta ut och toppnivån i period fyra undviks i fallet utan jämnhetskrav. Den totala avverksningen i period fyra sjunker från 384 000 m³sk till 235 000 m³sk med en gallring och toppnivån nås senare år 2040-45.

Med jämnhetskrav och utan gallring (strategi ett) slutavverkas ca 100 000 m³sk/år under den första perioden, år 2010-15. Med möjlighet att gallra (strategi tre) sjunker denna siffra till ca 60 000 m³sk/år vilket visas i figur 10.

Med jämnhetskrav är skillnaden mellan strategierna i total avverkad volym contorta liten. Den totala avverkade volymen är snarlik för strategi ett, två och tre under de första sex perioderna. Mellan strategi två och tre finns dock en liten skillnad i förhållandet mellan gallring och slutavverkning som beror på att gallring inte är optimalt i alla bestånd som uppfyller kraven på grundtyta, höjd och marktextur.



Figur 10. Årlig avverkad volym talltimmer i slutavverkning med gödsling före slutavverkning (strategi 4, en gödsling), före både slutavverkning och sistagallring (strategi 4, två gödslingar) samt utan gödsling, både med (strategi 3b) och utan (strategi 3a) jämnhetskrav.

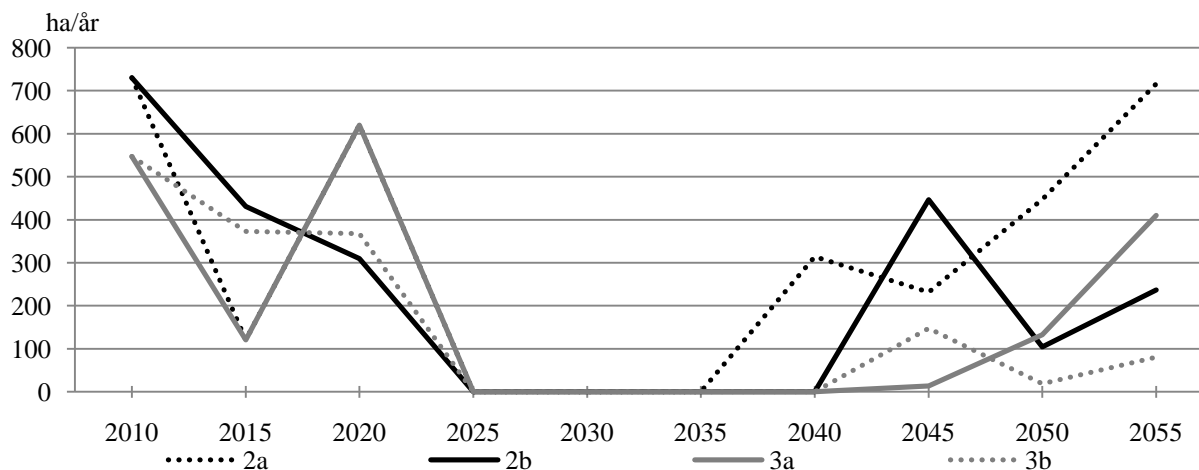
Figure 10. Annual harvest of Scots pine timber in final felling, with fertilization before final felling (4 en gödsling) and with fertilization before both final felling and last thinning (strategy 4, two fertilizations) and also without fertilization, both with (strategy 3b) and without (strategy 3a) even-flow restrictions.

Figur 10 visar fyra möjliga avverkningsnivåer av talltimmer i slutavverkning. Utan jämnhetskrav kommer mycket stora avverkningar att ske i den första perioden, det beror på att tillgången på äldre behandlingsenheter med låg förräntning är god, jämför med åldersklassfördelningen i figur 5.

En engångsgödsling av alla gödslingsbara tallbestånd ökar avverkningarna av talltimmer med i medeltal 3000 m³fub/år och två gödslingar ökar avverkningarna med i genomsnitt 6200 m³fub/år. För talltimmer och tallmassaved tillsammans ökar avverkningarna med 4800 respektive 10960 m³fub/år. Med en gödsling gödslas i snitt 640 ha/år och med två gödslingar gödslas i snitt 1190 ha/år. Totalt ger en engångsgödsling en tillväxtökning på 881 000 m³sk vilket innebär en tillväxtökning 13,7 m³sk per gödslad hektar.

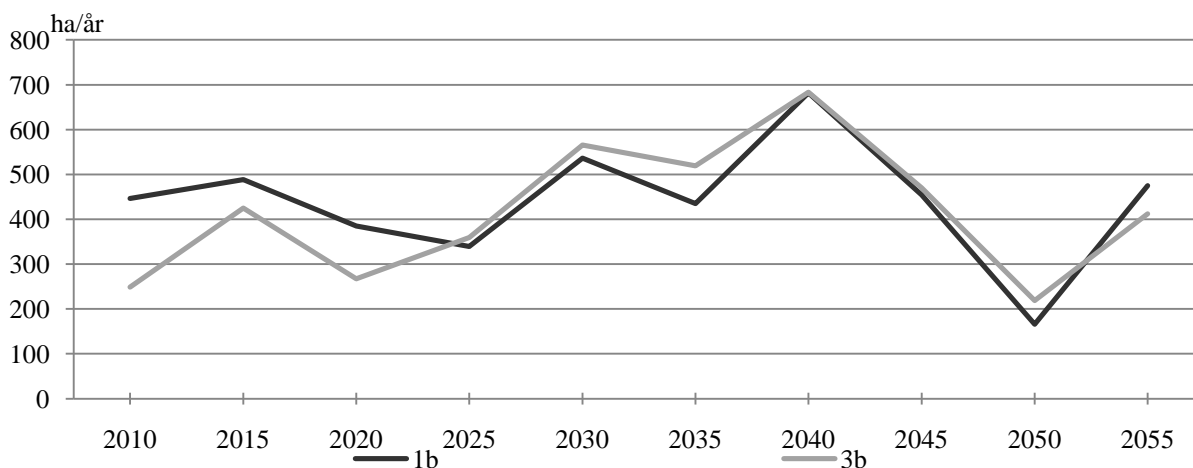
Inga inläsningseffekter förekommer i PlanWise, all gödslad areal följs av slutavverkning två perioder (10 år) senare. Gödsling ger i praktiken en inläsningseffekt och minskar handlingsutrymmet i den operativa planeringen. Andelen av kontrollkategori fyra, gödsling av tall, som uppfyller kravet på fastmark, ståndortsindex och markvegetation är högt. I första halvan av planeringsperioden föregås 86 – 100 % av slutavverkningarna i kontrollkategori fyra av en gödsling, i andra halvan är andelen något lägre.

Skötsel av contortabestånd.



Figur 11. Areal gallring per år i contortadominerade bestånd med gallring (strategi 2) och med möjlighet att välja gallring (strategi 3). Med (strategi 2b, 3b) och utan (strategi 2a, 3a) jämnhetskrav.

Figure 11. Annual area thinned in stands dominated by Lodgepole pine with thinning (strategy 2) and with ability to choose thinning (strategy 3). With (strategy 2b, 3b) and without (strategy 2a, 3a) even-flow restrictions.



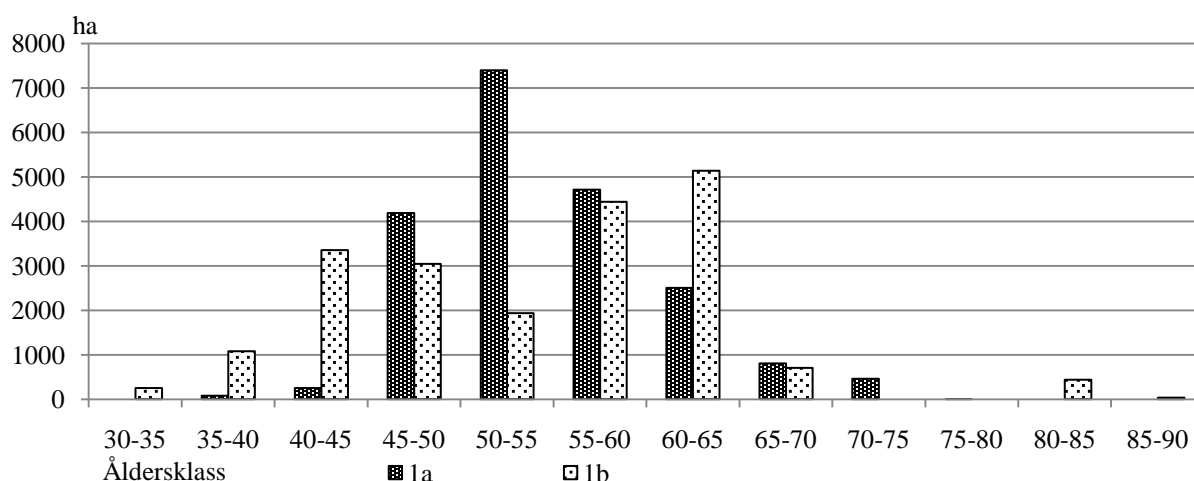
Figur12. Areal slutavverkning per år i contortadominerade bestånd utan gallring (strategi 1b) och med möjlighet att välja gallring (strategi 3b). Båda med jämnhetskrav.

Figure 12. Annual area final felling in stands dominated by Lodgepole pine without thinning (strategy 1a) and with ability to choose thinning (strategy 1b). Both with even-flow restrictions.

Arealen som föryngras med contorta varierar mellan 200 och 1200 ha/år med ett medeltal kring 600 ha/år under de första 10 perioderna. För strategier med gallring (strategi två och tre) planteras ca 300 ha/år under den första perioden. Sammanlagt ger det en svag ökning av arealen contorta trots att contorta avvecklas i skogsdomän två, contorta på finjordsrik eller fuktig mark. Alla strategier når taket på 15 % av arealen period 11-12, detta gäller med jämnhetskrav.

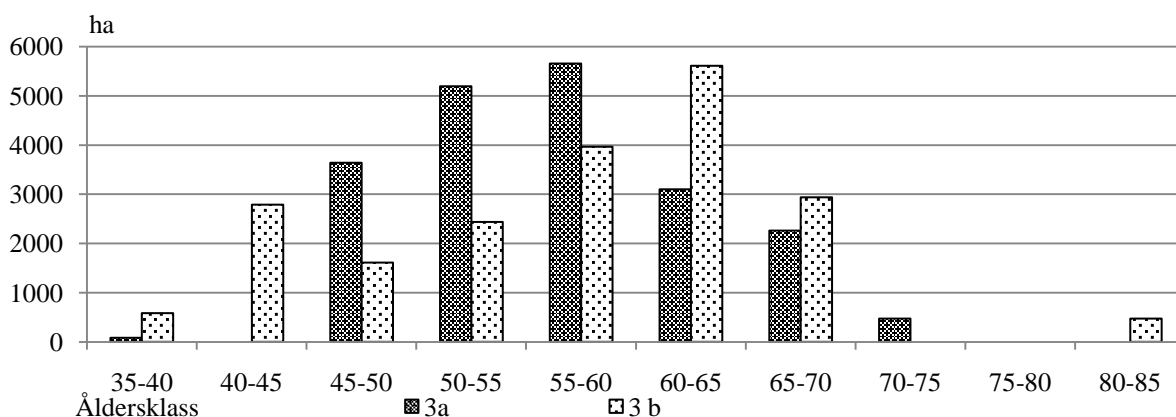
Figur 11 visar att 730 ha/år contorta uppfyller kraven för att gallras den första perioden, detta oavsett jämnhetskrav. Med valet mellan att gallra eller inte (strategi tre) sjunker denna areal till 550 ha/år vilket innebär att gallring inte är ekonomiskt optimalt för alla bestånd trots att kraven på grundyta, höjd och marktextur är uppfyllda. Det handlar om täta behandlingsenheter med en hög lövandel och ett högt virkesförråd, vinsten av en gallring här är liten och slutavverkning sker istället tidigt.

För att klara jämnhetskravet utan gallring ska 450 ha/år slutavverkas i första perioden vilket visas i figur 12. Med gallring i alla behandlingsenheter som uppfyller kraven för att gallras (strategi två) sjunker denna areal till 210 ha och med valfrihet mellan att gallra eller inte (strategi tre) slutavverkas 240 ha/år i första perioden. Utan jämnhetskrav är arealen slutavverkning i första perioden nära noll.



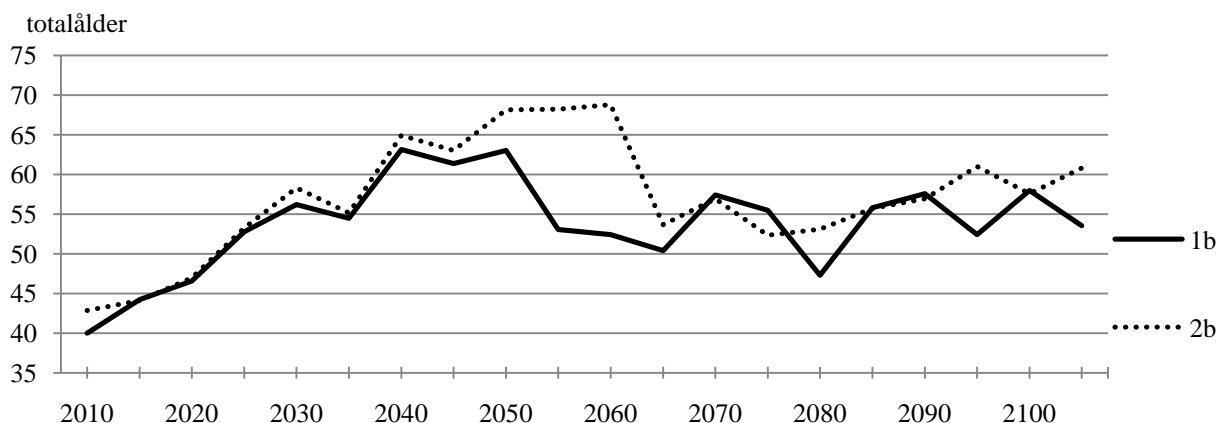
Figur 13. Avverkad areal per slutavverkningsålder för generation 1. Utan gallring, med (strategi 1b) och utan (strategi 1a) jämnhetskrav.

Figur 13. Area final felled per final felling age, generation 1. Without thinning, with (strategy 1b) and without (strategy 1a) even-flow restrictions.



Figur 14. Avverkad areal per slutavverkningsålder för generation 1. Med möjlighet att gallra, med (strategi 3b) och utan (strategi 3a) jämnhetskrav.

Figur 14. Area final felled per final felling age, generation 1. With ability to choose thinning, with (strategy 3b) and without even-flow restrictions (strategy 3a).



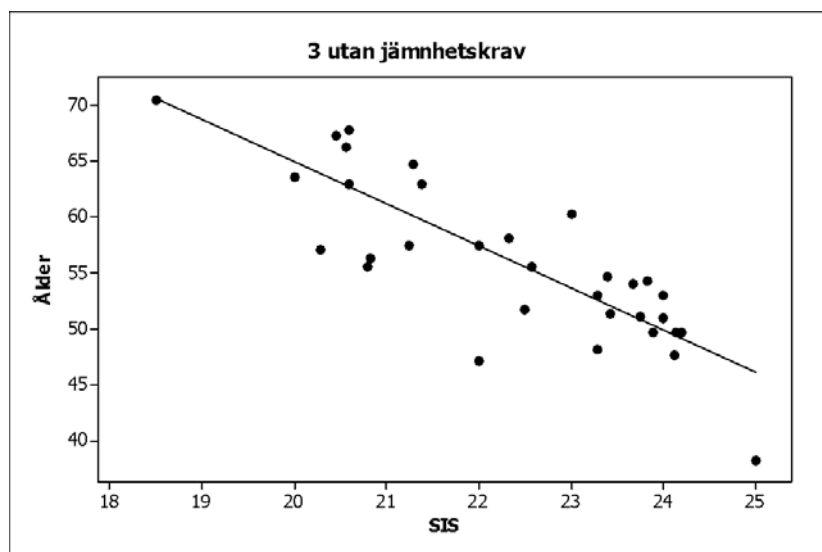
Figur 15 Medelvärde av slutavverkningsåldrar för varje period, vägd mot avverkad areal med (strategi 2b) och utan (strategi 1b) gallring, med jämnhetskrav.

Figure 15. Mean of final felling age for each period weighted against treated area with (strategy 2b) and without (strategy 1b) thinning, with even-flow restrictions.

Jämnhetskrav på virkesflödet påverkar omloppstiden genom att behandlingsenheter avverkas tidigare och senare än vad som är ekonomiskt optimalt. Figur 13 och 14 visar areal per slutavverkningsålder i femårsklasser för befintliga contortabestånd, med (1b, 3b) och utan (2a, 2b) jämnhetskrav. Optimal omloppstid utan gallring (strategi ett) ligger mellan 45-60 år för 80 % av arealen med 36 % inom 50-55 år. Med möjlighet att gallra är det en större andel av arealen som har en optimal omloppstid på 55-60 år och den toppnoteringen i klassen 50-55 år som uppstår utan gallring undviks.

Figur 15 visar hur omloppstiden varierar över tiden. Under de första perioderna sker tidiga slutavverkningar men det handlar om mycket små arealer, främst om bestånd med extremt högt stamantal och hög lövandel. Skillnaden år 2050 – 2060 beror på att då sker slutavverkning av gallrade bestånd. I generation 2 stabiliseras slutavverkningsåldern mellan 50 och 60 år.

Regressionsanalys med slutavverkningsålder som beroende variabel och SIS, virkesförråd, stamantal, grundyta och lövandel som förklarande variabler visar på ett signifikant samband mellan SIS och slutavverkningsålder. Behandlingsenheter med högt SIS avverkas tidigt men variationen är stor. Figur 16 visar slutavverkningsålder och SIS samt funktionen $\text{Ålder} = 140 - 3,77 \cdot \text{SIS}$, $R^2 = 0,72$. Med jämnhetskrav ökar spridningen något.



Figur 16. Regression av slutavverkningsålder som funktion av SIS. Strategi tre, utan jämnhetskrav.

Figure 16. Regression of final felling age as a function of site index (SIS). Strategy three, without even-flow restrictions.

Gallring på beståndsnivå

Tabell 4 visar resultatet från PlanWise för en enskild behandlingsenhet med och utan gallring. I utgångsläget är enheten 25 år med 2030 stammar/ha, SIS är T21. Utan gallring når behandlingsenheten maximalt nuvärde vid en omloppstid på 55 år. Med gallring ökar den optimala omloppstiden till 60 år. Vid samma omloppstid ger det ogallrade alternativet en högre produktion. Vid den omloppstid som ger maximalt nuvärde ger dock det gallrade alternativet en högre nettoproduktion. Medelproduktionen i tabell 4 är uttryckt som medelvärdet av den löpande nettoproduktionen. Nettoproduktionen som anges gäller för befintligt bestånd.

Tabell 4. Netto och bruttoproduktion, nuvärde och samlade intäkter med och utan gallring

Table 4. Net and gross production, net present value and sum of net revenue with and without thinning

	Utan gallring	Utan gallring, optimal omloppstid	En gallring
Nettoproduktion (m ³ sk/ha)	418	374	406
Medelproduktion, netto (m ³ sk/ha/år)	7,03	6,59	6,91
Omloppstid (år)	60	55	60
Akkumulerade intäkter	109 %	100 %	106 %
Nuvärde	99,6 %	100,0 %	103,0 %

Diskussion

Resultatet bekräftar slutsatsen från tidigare företagstaxering, att contorta utgör en stor andel av ungskogen och om inga aktiva åtgärder görs kommer det att leda till att stora volymer slutavverkas under en kort tidsperiod.

Syftet att sprida den avverkade volymen contorta över en längre tidsperiod kan nås både med och utan gallring men kostnaden för jämnhetskravet varierar mellan strategierna. De relativa skillnaderna mellan strategierna som redovisas i tabell 2 och tre är små men då det rör sig om stora belopp är skillnaderna av betydelse. Kostnaden för jämnhetskrav på virkesflödet är störst utan gallring, det beror på att gallring i sig har en utjämnande effekt på virkesflödet vilket syns i figur 9 som visar avverkningarna av contorta med och utan gallring och utan jämnhetskrav.

Med jämnhetskrav ökar det totala nuvärdet för strategi två (gallring), något mer än för strategi tre (valfrihet mellan att gallra eller ej). Detta är troligen fel då strategi tre innehåller en större mängd skötselalternativ än strategi två, alltså bör strategi tre ge samma eller högre nuvärde om det finns bestånd som inte är optimala att gallra i. Skillnaden är mycket liten, 0,04 % och test med CPLEX, en kraftigare Lp-lösare än Lp_Solve, ger samma resultat. Det beror därför sannolikt inte på avrundningsfel i Lp-lösaren även om det är på gränsen att skillnaden är inom programmets felmarginal. Utan jämnhetskrav ger dock strategi tre ett högre nuvärde som förväntat. Vad som orsakat detta har inte kunnat fastställas, men förmodligen är det något i skötselprogramgenereringen som har gått fel, eller något i inställningarna som har förbisetts.

Om bara befintliga contortabestånd beaktas ger strategi tre ett högre nuvärde än strategi två vilket syns i tabell 3. Detta innebär att en del av contortabestånden som uppfyller kraven på grundyta och höjd inte är ekonomiskt optimalt att gallra i. Det detta avspeglas också i figur 11 som visar gallrad areal per år för strategi två och tre. Kraven på grundyta och höjd för att gallring ska ske är högt ställda och för normala bestånd är gallring det bästa alternativet. Skillnaden i gallrad areal mellan strategi två och tre utgörs av några behandlingsenheter med hög lövandel och mycket hög grundyta, till exempel ett som vid 38 års ålder håller ett virkesförråd på otroliga 440m³sk/ha. Andelen löv är 41 % av volymen och enheten består av endast en provyta varför det är sannolikt att denna provyta ger en missvisande bild av beståndet som helhet. Denna behandlingsenhet utmärker sig även i figur 6. Här sker slutavverkning redan i period noll för strategi tre och i strategi två sker först en gallring och sedan slutavverkning i period två. Det är möjligt att denna behandlingsenhet borde tagits bort ur materialet men då samplet är litet, endast 30 behandlingsenheter är contortadominerade i utgångsläget, har alla enheter ingått.

Nettoproduktionen ökar med 0,64-0,33 % med gallring och jämnhetskrav (strategi två och tre) vilket syns i tabell 2. Ökningen kan bero på att den ekonomiskt optimala omloppstiden ökar på grund av gallringen och då ligger närmare medeltillväxtens kulmination, den avverkningstidpunkt som maximerar produktionen. Samma resultat syns i tabell 4 där produktionen ökar något i det gallrade alternativet jämfört med det ogallrade, förutsatt att alternativen jämförs vid den omloppstid som ger högst nuvärde.

Att uppnå jämnhet genom att bara reglera slutavverkningsåldern är möjligt men leder till att stora arealer avverkas senare än vad som är ekonomiskt optimalt vilket visas i figur 13. Elfving (2002)

anger självgallringsgränsen som ett ”spacing index”, en kvot mellan medelförband och övre höjd på 0,10. Med möjlighet att välja gallring och med jämnhetskrav (strategi tre) ligger detta index på 0,10-0,20 vid slutavverkningstidpunkten och grundytan når maximalt drygt 40 m²/ha, undantaget behandlingsenheten som nämns i föregående stycke.

Tillväxtmodellerna för contorta saknar empiriskt stöd för äldre bestånd, det äldsta bestånd som ingick i Elfving och Norgrens studie (1993) var 64 år. Figur 14 och 15 över slutavverkad areal och ålder visar dock att det är mycket små arealer som når omloppstider på över 70 år varför det inte bör vara något problem.

Gallring som hushållningsstrategi

Ett argument för att gallra skog är att ingreppet höjder kvalitén på det kvarvarande beståndet genom uttag av lågkvalitativa stammar. Dock är möjligheten till ett kvalitativt urval i förstagallring är litet på grund av ett högt uttag i stickvägarna (Agestam 2009). Gallring fördelar även tillväxten på färre stammar och då grövre timmer betalar sig bättre sker också en värdetillväxt (Agestam 2009). Enligt Karlsson (opubl.) är dock skillnaden i diameterfördelning för grövre diameterklasser liten. Det förklaras med att de grövsta stammarna som redan dominerar trädskiktet påverkas i mindre utsträckning av det ökade utrymme som gallringen skapar. Gallring leder alltså till att klena stammar avverkas tidigare och till en högre avverkningskostnad. Dessutom tillkommer en viss sänkning av nettoproduktionen och en ökad risk för vind och snöskador.

Varför då gallra contorta? Tabell 4 visar att vid samma omloppstid ger det ogallrade alternativet högre nettoproduktion och en högre total inkomst, trots detta har alternativet med en gallring högre nuvärde. Det beror på gallringens utjämnande effekt av både inkomster och virke. Skogen har inget gallringsbehov, det är skogsägaren som har ett behov av virke och inkomster. Gallring av tall och contorta handlar lika mycket om skogshushållning som om skogsskötsel. Det är viktigt att betona skillnaden mot gran som uppvisar en bättre gallringseffekt och där gallring till och med kan höja nettoproduktionen. En avgörande faktor för om contorta ska gallras eller ej är diskonteringsräntan som avgör hur inkomster idag värderas mot inkomster i framtiden.

Gödsling som hushållningsstrategi

Gödsling är den enda produktionshöjande åtgärd som kan öka den avverkade volymen redan inom 10 år. Förädlade plantor, ökad överlevnad i plant och ungskog samt ökad användning av snabbväxande exoter som contorta och lärk ger en ökad avverkningsnivå först om en omloppstid. Möjligheten att gödsla sig ur en virkesbrist är tveksam men det ger ett tillskott av värdefull ”marginalvirke”. Alternativet är ofta att importera eller att öka andelen lokala köp vilket också ger merkostnader.

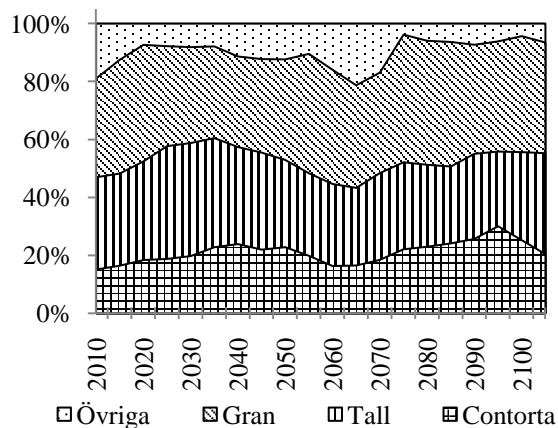
Merproduktionen som en engångsgödsling ger här är 13,7 m³sk per gödslad hektar. Det är ett rimligt värde om än något lågt. Jacobsson et al. (2005) anger en merproduktion på 13-20 m³sk beroende på ståndort och läge i landet. Det är baserat på samma funktioner som används i PlanWise (Pettersson 1994).

Ingen brist på talltimmer kan förväntas den närmaste tiden. Figur 10 visar en ökande avverkningsnivå de närmaste 30 åren men det beror helt på hur jämnhetskravet formulerats och utgår inte från befintlig avverkningsnivå. Utan jämnhetskrav är det optimalt med en mycket hög avverkningsnivå redan i första perioden. Avverkningarna beror helt på hur Holmen Skog väljer att ransonera de äldre behandlingsenheter som syns i åldersklassfördelningen i figur 5.

Figur 10 visar bara talltimmer i slutavverkning, inklusive små volymer talltimmer från gallring ökar flödet något. Utan jämnhetskrav syns i figur 10 en kraftig brist på talltimmer i år 2050- 2075 med en bottennotering 2060-65. SIS för tallbestånd i studien är i medeltal T22 och skogsvårdslagens föreskrifter anger LSÅ för en T20 till 70 år. En behandlingsenhet som avverkas 2060 kan antas vara minst 70 år och i utgångsläget alltså minst 10 år. I figur 5 som visar åldersklassfördelningen för samtliga behandlingsenheter syns att åldersklassen 15-20 år saknas helt i utgångsläget. Detta är naturligtvis inte korrekt och är ett resultat av hur resurserna för taxeringen fördelats. Osäkerheten i avverkningarna som baseras på dagens plant- och ungskog är stor då dessa speglas sämre i utgångsläget. 17 bestånd har lottats i åldersklassen 3-20 år, dessa representerar en mycket stor areal och ingen skillnad mellan gran-, tall- och contortaplanteringar har gjorts i lottningen varför det finns risk för slumpmässiga fel i trädslagsfördelningen. Till det tillkommer en felmarginal i tillväxtmodellerna som ökar med en ökad längd på simuleringen (Elfving opubl.).

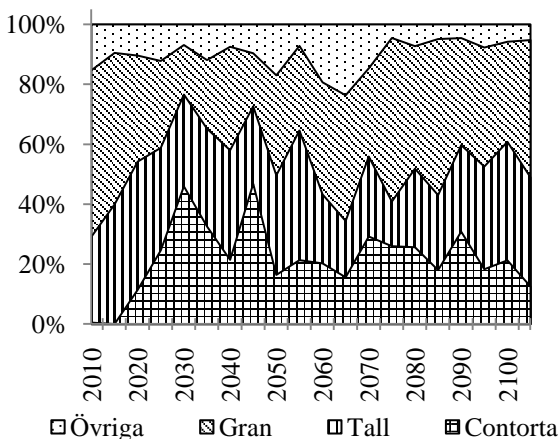
Bottennotering i flödet av gran- och talltimmer perioden 2036-46 som figur 2 visar syns inte i figur 10. Där kan en svacka eventuellt komma senare omkring 2050-75. Bristen på gran- och talltimmer som visas i figur 2 kan bero på hur jämnhetskraven i Indelningspaketet formuleras. En av Heures styrkor är att användaren har stor frihet att justera förutsättningarna både vid simulering av skötselprogram och i optimeringen. I den första versionen av Indelningspaketet reglerades jämnheten bara genom räntan och en jämnhetsfaktor. I senare versioner är friheten större och användaren kan ställa krav på volym i slutavverkning och gallring, men det finns ingen möjlighet att definiera krav på trädslag eller sortiment (Carlsson 2003). Effekten av att bara ha ett jämnhetskrav på total avverkad volym i slutavverkning är att contorta ersätter övriga trädslag, vilket framgår av figur 17 och 18 som visar samma skötselprogram men med olika jämnhetskrav i optimeringsmodellen. I figur 17 har jämnhetskrav satts på tall- och grantimmer, contorta och total volym enligt bilaga 2. I figur 18 har jämnhetskrav bara ställts på avverkad total volym i

slutavverkning. Maximal ökning mellan varje period är 10 % och ingen minskning tillåts. Resultatet är att contorta till stor del ersätter gran i slutavverkning under några perioder, samma trend som observeras i figur 2.



Figur 17. Trädslagsfördelning i slutavverkning, utan gallring av contorta och med jämnhetskrav enligt bilaga 2.

Figure 17. Distribution of tree species in final felling. Without thinning of Lodgepole pine and with even-flow restrictions according to appendix 2.



Figur 18. Trädslagsfördelning i slutavverkning utan gallring och med jämnhetskrav bara på total volym i slutavverkning.

Figure 18. Distribution of tree species in final felling. Without thinning of Lodgepole pine and with a even-flow restriction only on total volume in final felling.

Felkällor

Vid indelningen av behandlingsenheter i skogsdomäner har egenskaper som jordart, vegetationstyp, markfukt och SI använts. Skattningen av dessa variabler kan vara sämre än för själva skogstillståndet då stratifieringen av stickprovet utgår från ålder, volym, målklass och andel contorta. Det finns därför risk för större statistiska fel. Författarens uppfattning efter att ha utfört olika typer av inventeringsarbete åt Holmen Skog är att företagets bestandsregister håller hög kvalitet beträffande ståndortsfaktorer. För att skatta arealen skogsmark som uppfyller kraven för gödsling och gallring (jordart och markfukt, ej grundyta och höjd) ger sannolikt analyser som grundar sig på samtliga bestånd ett mer tillförlitligt resultat. Det ger också möjlighet att ta spatial hänsyn i analysen vilket är viktigt i synnerhet vid gödsling.

Figur 11 visar gallrad areal per år i contortabestånd. Frånvaron av gallringsbara contortabestånd år 2025-2040 beror på den sneda ålderklassfördelningen i utgångsläget, jämför med figur 5 och 6 som visar att det inte finns några contortabestånd under 20 år i det skattade utgångsläget. Det överensstämmer inte med det sanna värdet. Figur 1 visar att betydande arealer har föryngrats med contorta de senaste åren, även om den statistiken också innefattar Svegs distrikt. Felet är ett resultat av den avvägning som görs vid stratifiering av bestånd före lottning. Det är en kompromiss mellan ett bra underlag för långsiktiga prognoser och en bra skattning av den slutavverkningsmogna skogen de närmaste perioderna. Två bestånd är utlottade i stratum "contorta, 10-20 år" men dessa har vid inventering visat sig vara äldre än 20 år. Bestånd under 10

år har lottats tillsammans med övriga trädslag men inga contortabestånd har kommit med i stickprovet.

Det gallringsförsök med contorta som SLU driver består av 15 försöksytor (Elfving 2002). Några parceller har drabbats av vind och snöskador i så hög utsträckning att de helt utgått ur studien. För att i en deterministisk modell återspegla risken för vind och snöskador krävs ett stort datamaterial för att inkludera variationen mellan bra och dåliga år. Gallringsförsöken med contorta utgör ett för litet material för att grunda avgångsfunktioner på, därför används samma funktioner som för vanlig tall i Heureka. Detta svarar dåligt mot tidigare uppgifter om en högre avgång i äldre contortabestånd (Elfving & Norgren 1993, Elfving et al. 2001). Osäkerheten är här stor men troligen är avgångarna i äldre contortabestånd mindre än vad som först förväntats. Hämäläinen (2010) visar på en avgång på 2,4 % av volymen 3-12 år efter förstagallring. Det tyder på att avgångarna efter gallring inte är oroväckande höga även om försöket har brister, till exempel en stor spridning i tiden mellan gallring och inventering. Även funktioner för tillväxt efter gallring är hämtade från tallförsök men gallringsreaktionen skiljer sig sannolikt obetydligt från vanlig tall (von Segebaden 1992). Om användningen av tallbaserade avgångsfunktioner ger en underskattning av mortaliteten innebär det en överskattning av nettoproduktionen. Detta kan eventuellt kompensera för de preliminära resultat som visar på en högre produktionsförlust vid gallring i contorta (Karlsson opubl.)

PlanWise är ett kraftfullt hjälpmedel som kan ge förslag på hur skogsskötsel ska utformas för att nå ett visst mål. För att fullt ut utnyttja PlanWise bör gallringsmallarna utvecklas. Skaderisken sätter gränserna för vid vilken höjd gallring är lämplig men vid vilken grundyta bör gallring ske? Var går gränsen för när den tidiga inkomst som en gallring ger inte kan kompensera för den produktionsförlust som uppstår? Gallringsmallarna som används i Heureka härstammar från Hugin-projektet och togs fram under slutet av 1970-talet (Lundström pers.kom) Då var gallringsarbetet ännu inte helt mekaniserat och skördarens arbete utfördes motormanuellt. De biologiska förutsättningarna är desamma men gallring utförs, eller borde utföras, efter skogsägarens mål och krav på avkastning. Därför är ränta, virkespris och drivningskostnader viktiga faktorer i frågan om gallring ska utföras eller ej, faktorer som PlanWise tar hänsyn till.

I praktiken sker en stor del av contortagallringarna endast utifrån höjdkravet, eftersom man inte uppnår den grundyta som gallringsmallarna kräver på grund av ett lågt stamantal i tidigt anlagda bestånd (Aretorn pers. kom). Någon hänsyn till hur detta påverkar produktionen har inte tagits i arbetet men figur 13 visar att det finns betydande arealer som uppnår eller har förutsättningarna för att uppnå den grundyta som gallringsmallen kräver.

Slutsatser

Jämnhet på flödet av contortavirke kan åstadkommas genom att endast justera slutavverkningsåldern men gallring minskar inoptimalförlusten som ett jämnhetskrav medför.

Gallringen av lämpliga bestånd höjer nuvärdet jämfört med att inte gallra med ca 2 %.

Gallring kan rekommenderas i alla contortabestånd som uppfyller kraven på grundyta och höjd med undantag för enstaka bestånd med hög lövandel och dålig värdeutveckling.

För att uppfylla jämnhetskravet som ställts i detta arbete bör slutavverkning av contortabestånd starta redan inom de kommande 5-10 åren. En låg slutavverkningsålder kan rekommenderas för bestånd med högt SI. Även utan jämnhetskrav finns bestånd som bör slutavverkas redan inom de närmaste 5-10 åren.

Den befarade bristen på tall- och grantimmer som tidigare avverkningsberäkning indikerar kan vara ett resultat av hur jämnhetskrav formuleras i Indelningspaketet. Avverkningsnivån beror på hur Holmen väljer att ransonera äldre bestånd men ingen brist på talltimmer kan ses de närmaste 30 åren. Därefter är prognosen osäker på grund av en missvisande bild av ungskogen i utgångsläget.

Gallringsmallarna bör utvecklas, både med avseende på praktisk användning och för att fullt utnyttja PlanWise kapacitet.

Tillkännagivanden

Jag vill tacka Holmen Skog och min kontaktperson på företaget, Jonas Eriksson, som givit mig möjlighet att genomföra detta arbete.

Min handledare Peder Wikström har varit till stor hjälp både med tekniska frågor i PlanWise och med rapportskrivandet. Därtill vill jag också tacka Björn Elfving som tagit sig tid att svara på frågor om contorta och tillväxtmodellering.

Referenser

- Andersson, E. 1987. Pinus contorta – hållfasthet. Rapport 185. Institutionen för virkeslära, SLU, Uppsala.
- Anon. 2009. The Heureka Reserch Programme. Final Report for Phase 2, October 2005 – September 2009. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.
- Agestam, E. 2009. Gallring. Skogsskötselserien, Skogsstyrelsen. Online 2010-10-12: <http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien>
- Agestam, E., Karlsson, C. 2009. Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen, bilaga 5. SLU, Rapport.
- Carlsson, T. 2003. Dokumentation av Indelningspaketet. Arbetsrapport 528, Skogforsk. Uppsala.
- Ekö, P-M. 1979. Gallringens inverkan på volymproduktionen. II Gallringseffekt under praktiska förhållanden. Rapport 18, Projekt Hugin, SLU, Umeå.
- Elfving, B. (opublicerad) On the accuracy of growth prediction. PM for Heureka 2008-05-15. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU, Umeå.
- Elfving, B. 2002. Förbands och gallringsförsök med contorta. Mätdata från 1998-2000. Arbetsrapporter 177, Institutionen för skogsskötsel, SLU, Umeå.
- Elfving, B., Ericsson, T., Rosvall, O. 2001. The introduction of Lodgepole pine for wood production in Sweden – a review. Forest Ecology and Management 141, 15-29
- Elfving, B., Norgren, O. 1993. Volume yield superiority of Lodgepole pine compared to scotch pine in Sweden. Proceedings of "Pinus Contorta – from untamed forest to domesticated crop" Meeting of IUFRO and Frans Kempe symposium, Umeå 1992. Lindgren, D. (editor) Department of Forest Genetics and plant Physiology, Swedish University of Agricultural Science, report 11:69-80.
- Hagner, S. 2005. Skog i förändring: Vägen mot ett rationellt och hållbart skogsbruk i Norrland ca 1940-1990. Kungliga skogs- och lantbruksakademin, Stockholm.
- Häggglund, B., Karlsson, C., Remröd, J., Siren, G. 1979. Contortatallens produktion i Sverige och Finland. Rapport 13, Projekt Hugin. SLU, Umeå.
- Hämäläinen, M. 2010. Lodgepole pine – stability after thinning. Examensarbete nr 146. Inst. för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L., Sikström, U. 2005. Skogsgödsling: En handledning från Skogforsk. Skogforsk, Uppsala.

- Karlsson, C. (opublicerad) Opublicerade resultat från senaste revisionen av SLU:s gallringsförsök i contorta. Utdelat material vid contortaexkursion till Synderåsen med Holmen Skog AB 2010-10-07.
- Lidström, S. 2008. Snabbväxande invandrare. Shape 2008:2, sid 24-25. SCA, Stockholm.
- Rosvall, O. 1994. Contortatallens stabilitet och motståndskraft mot vind och snö. Redogörelse - Skogsforsk; 1994:2. Uppsala.
- Rune, G., Mattson, M., 1998. Rotutveckling hos sådd och planterad contortatall. Redogörelse - Skogsforsk; 1998:7. Uppsala.
- Nellbeck, R. 1969. Den nya skogen: en presentation av Iggesunds Bruk skogsskötselprogram. Iggesunds Bruk AB, Sundsvall.
- Norgren, O. 1995. Growth differences between *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta*. Avhandling. SLU, Institutionen för skogsskötsel, Umeå.
- Normark, E. 2007. Riktlinjer för uthålligt skogsbruk, Holmen Skog AB. Online 2010-12-08: <http://www.holmenskog.com/Main.aspx?ID=26e47ffe-bf65-459f-8dae-c59111fab233>
- Normark, E. 2010. Gallringshandledning, Holmen Skog AB. Online 2010-09-29: <http://www.holmenskog.com/Main.aspx?ID=d124cbf8-9d7f-4f7e-b3d6-20c1b32f57e4>
- Persson, C. 2008. Tillväxt och potentiell sågtimmerkvalitet i gallringsmogna jämförelsplanteringar med *Pinus contorta* och *P. sylvestris*. Examensarbete, Inst för skogens ekologi och skötsel. 2008:11. SLU, Umeå
- Persson, P. 1975. Stormskador på skog – Uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. Rapporter och Uppsatser; Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion; 36. Stockholm.
- Pettersson, F. 1994. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. Report no. 4. Skogforsk
- Skogsstyrelsen. 2010. Skogsvårdslagstiftning: gällande regler 1 september 2010. Skogsstyrelsen, Jönköping. Online 2010-10-28: <http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/svl/SVL%202010.pdf>
- von Arnold, K. (projektledare) 2007. Kvävegödsling av skogsmark. Meddelande 2: 2007. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- von Segebaden, G. (projektledare), 1992. Contortatallen i Sverige – en lägesrapport. Skogsstyrelsens contortautredning. Skogsstyrelsen, Umeå.
- Wigardt, M. 2007. Förädlad contorta väcker nyfikenhet. Din Skog 2007:1, sid 6-7. SCA, Sundsvall.

Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C., Klintebäck, F., 2011. The Heureka Forestry Decision Support System: An Overview. Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences (MCFNS). Kommande nummer.

Personlig kommunikation:

Aretorn, Magnus. Skötselchef, Holmen Skog, region Iggesund. E-post 2010-11-16.

Elfving, Björn. Professor emeritus, Institutionen för skogens ekologi och skötsel. SLU, Umeå. Angående gallringsmall och avgångsfunktioner för contortatall.

Lundström, Anders. Forskningsledare, Inst. för skoglig resurshushållning, skoglig statistikproduktion. Telefon 2010-02-04 angående gallringsmallar i Heureka och Hugin.

Bilaga 1. Kopplingen mellan kontrollkategorier och domäner

Tabell 5. Domäner och kontrollkategorier i strategi ett, ingen gallring av contorta

Table 1. Forest domains and control categories in strategy one, not thinning of Lodgepole pine.

Domän:	Kontrollkategori:	
	Generation 1	Generation 2 och senare
1. Contorta, gallringsbara	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta
2. Contorta, ej gallring	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta	5. Föryngring med gran
3. Föryngring med contorta eller gödsling	1. Default Control Category	1. Default Control Category
4. Föryngring med contorta		2. Ingen gallring, föryngring med Contorta
5. Gödsling av tall.	1. Default Control Category	1. Default Control Category
6. Övriga		

Tabell 6. Domäner och kontrollkategorier i strategi två, en gallring av contorta.

Table 2. Forest domains and control categories in strategy two, one thinning of Lodgepole pine

Domän:	Kontrollkategori:	
	Generation 1	Generation 2 och senare
1. Contorta, gallringsbara	3. Gallring, föryngring med Contorta	3. Gallring, föryngring med Contorta
2. Contorta, ej gallring	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta	5. Föryngring med gran
3. Föryngring med contorta eller gödsling	1. Default Control Category	1. Default Control Category
4. Föryngring med contorta		2. Ingen gallring, föryngring med Contorta
5. Gödsling av tall.	1. Default Control Category	1. Default Control Category
6. Övriga		

Tabell 7. Domäner och kontrollkategorier i strategi tre, med möjlighet att välja gallring av contorta.
Table 3. Forest domains and control categories in strategy three, with ability to choose thinning of Lodgepole pine.

Domän:	Kontrollkategori:	
	Generation 1	Generation 2 och senare
1. Contorta, gallringsbara	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta
	3. Gallring, föryngring med Contorta	3. Gallring, föryngring med Contorta
2. Contorta, ej gallring	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta	5. Föryngring med gran
3. Föryngring med contorta eller gödsling	1. Default Control Category	1. Default Control Category
4. Föryngring med contorta		2. Ingen gallring, föryngring med Contorta
		3. Gallring, föryngring med Contorta
5. Gödsling av tall.	1. Default Control Category	1. Default Control Category
6. Övriga		

Tabell 8. Domäner och kontrollkategorier i strategi fyra, gödsling av tall och möjlighet att välja gallring
Table 4. Forest domains and control categories in strategy four, fertilization of Scots pine and with ability to choose thinning of Lodgepole pine

Domän:	Kontrollkategori:	
	<i>Generation 1</i>	<i>Generation 2</i>
1. Contorta, gallringsbara	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta 3. Gallring, föryngring med Contorta	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta 3. Gallring, föryngring med Contorta
2. Contorta, ej gallring	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta	5. Föryngring med gran
3. Gödsling eller föryngring med contorta	4. Gödsling före slutavverkning	2. Ingen gallring, föryngring med Contorta 3. Gallring, föryngring med Contorta 4. Gödsling före slutavverkning
4. Föryngring med contorta	1. Default Control Category	1. Default Control Category 2. Ingen gallring, föryngring med Contorta 3. Gallring, föryngring med Contorta
5. Gödsling	4. Gödsling före slutavverkning	4. Gödsling före slutavverkning
6. Övriga	1. Default Control Category	1. Default Control Category

Bilaga 2. Beskrivning av optimeringsmodellen

Målfunktion:

$$\text{Max} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} nv_{i,j} a_{i,j} x_{i,j}$$

Beslutsvariabel:

$x_{i,j}$ = Andel av behandlingsenhet i som sköts enligt skötselprogram j .

Kontovariabler:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} volTot_{i,j} a_i x_{i,j} - SumVolTot_p = 0, \quad \forall p$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} \sum_{r \in R(i,j)} volAvTot_{i,j,r} a_i x_{i,j} - SumVolAvTot_p = 0, \quad \forall p$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} \sum_{r \in R(i,j)} volAvTall_{i,j,r} a_i x_{i,j} - SumVolAvTall_p = 0, \quad \forall p$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} \sum_{r \in R(i,j)} volAvGran_{i,j,r} a_i x_{i,j} - SumVolAvGran = 0, \quad \forall p$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} \sum_{r \in R(i,j)} volAvC_{i,j,r} a_i x_{i,j} - sumVolAvC = 0, \quad \forall p$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J(i)} \sum_{r \in R(i,j)} b_{ijp} a_i x_{i,j} - AreaC_p = 0, \quad \forall p$$

$$\sum_{p \in P} SumVolAvTot_p + SumVolTot_{19} - SumVolTot_0 - NetProd = 0$$

Restriktioner:

$$SumVolAvTot_p \leq (1 + a) * SumVolAvTot_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvTot_p \geq SumVolAvTot_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 20\}$$

$$SumVolAvTall_p \leq (1 + a) SumVolAvTall_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvTall_p \geq (1 - a) SumVolAvTall_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvTall_p \geq SumVolAvTall_0, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvGran_p \leq (1 + a) SumVolAvGran_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvGran_p \geq (1 - a)SumVolAvGran_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvGran_p \geq SumVolAvGran_0, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvC_p \geq (1 - a)SumVolAvC_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvC_p \leq (1 + a)SumVolAvC_{p-1}, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$SumVolAvC_p \geq SumVolAvC_0, \quad p = \{1, \dots, 19\}$$

$$areaC_p \leq c \quad \forall p \quad (1.)$$

$$0 \leq x_{i,j} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (1.)$$

$$\sum_{j \in J(i)} x_{i,j} = 1 \quad \forall i \quad (1.)$$

(1.) Restriktioner som alltid ingår, även utan jämnhetskrav på virkesflödet.

Uppsättningar:

P	= Mängden perioder, indexeras med $p = \{0, \dots, 19\}$
I	= Mängden av alla behandlingsenheter, indexeras med i ,
$J(i)$	= Mängden av skötselprogramalternativ för enhet i , indexeras med j
$R(i,j)$	= Mängden av alla åtgärder för enhet i och skötselprogramalternativ j under period p (det kan finnas flera åtgärder i en period). Indexeras med r för åtgärdsnummer.

Definitioner kontovariabler:

$SumVolTot_p$	= Virkesförråd i period p .
$SumVolAvTot_p$	= Total avverkad volym i period p .
$SumVolAvTall_p$	= Avverkad volym talltimmer i period p .
$SumVolAvGran_p$	= Avverkad volym grantimmer i period p .
$SumVolAvC_p$	= Avverkad volym contorta i period p .
$areaC_p$	= Areal dominerad av contorta (> 50 % av volymen eller har planterats under perioden) i period p .
$NetProd$	= Nettoproduktion under planperioden.

Konstanter:

a_i	= Area för behandlingsenhet i .
$nv_{i,j}$	= Nuvärdet för enhet i , alternativ j .
$volTot_{i,j,p}$	= Virkesförråd efter åtgärd för period p för enhet i givet att skötselprogram j med åtgärd r tillämpas.
$volAvTot_{i,j,p,r}$	= Avverkad total volym för period p för enhet i givet att skötselprogram j med åtgärd r tillämpas.
$volAvC_{i,j,p,r}$	= Avverkad volym contorta för period p för enhet i givet att skötselprogram j med åtgärd r tillämpas.
$volAvTall_{i,j,p,r}$	= Avverkad volym talltimmer för period p för enhet i givet att skötselprogram j med åtgärd r tillämpas.
$volAvGran_{i,j,p,r}$	= Avverkad volym grantimmer för period p för enhet i givet att skötselprogram j med åtgärd r tillämpas.
a	= Maximal avvikelse mellan varje period, värde 10 %.
$b_{i,j,p}$	= indikator som är 1 om contorta är dominerade trädslag (>50% av volymen) eller har planterats under perioden för enhet i , alternativ j och period p , annars 0.
c	= Maximal area contorta, värde 26 138 ha. Då naturvårdsbestånd inte ingår i studien ger $0,15 \sum_{i \in I} a_i$, en underskattning av arealen.